



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Almeno Henrique da Silva Antunes

**Desenvolvimento de base de dados de  
impactes ambientais de ciclo de vida de  
soluções construtivas de paredes exteriores**





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Almeno Henrique da Silva Antunes

**Desenvolvimento de base de dados de impactes ambientais de  
ciclo de vida de soluções construtivas de paredes exteriores**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Ricardo Mateus**  
E co-orientação  
**Professor Doutor Luís Bragança**

Novembro de 2017

## DECLARAÇÃO

Nome: Almeno Henrique da Silva Antunes

Endereço eletrónico: a.henrique.antunes@gmail.com

Telefone: 917914795

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14083495

Título da dissertação: Desenvolvimento de base de dados de impactes ambientais de ciclo de vida de soluções construtivas de paredes exteriores

Orientador/a/es:

Professor Doutor Ricardo Mateus

Co-orientador/a/es:

Professor Doutor Luís Bragança

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:



## AGRADECIMENTOS

A realização da presente dissertação de mestrado apenas foi possível graças aos que me acompanharam nesta jornada, que me apoiaram desde o primeiro minuto e me deram força, motivação e alento para nunca desistir apesar de todas os obstáculos e adversidades que foram aparecendo pelo caminho.

Desta lista infindável, dou o principal destaque à minha família. Aos meus pais que me criaram e me educaram, mas principalmente a minha mãe, Maria do Sameiro da Silva Oliveira Antunes que apesar da dificuldade dos últimos anos me deu condições para explorar os vários caminhos com que me cruzei e que, talvez sem saber, me incutiu valores tão fortes como o de ser sempre honesto, realista, positivo e, o mais importante, de sorrir sempre para a vida em toda e qualquer adversidade porque “amanhã será melhor”. À minha mãe, devo tudo e espero um dia poder retribuir-lhe pelo menos um décimo do que ela me deu, incutiu e possibilitou. Ao meu irmão, Ricardo Filipe da Silva Antunes, deixo um gigante agradecimento pelo companheirismo, pelo abraço, pelos bons momentos e, acima de tudo, por estar sempre lá. Disponível, aberto e compreensivo. Apesar de mais novo, todas as lutas que ele próprio travou e venceu ao longo dos anos foram semente de perseverança que influenciou largamente a minha perspetiva e da mãe e que sem dúvida me possibilitaram concluir esta jornada. Aos meus amigos que viveram esta jornada comigo deixo-lhes também um sentido obrigado. Pela compreensão, pelo apoio e pelo ombro amigo com que sempre pude contar, do melhor ao pior momento, de manhã ou a altas horas da madrugada, com o café da manhã ou com uma almofada para repousar. Ao Daniel Carvalho pelo apoio a nível informático e, por fim, ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Mateus, como guia, mentor e principalmente professor, a mais nobre qualidade que poucos têm o prazer de alcançar. A ambos o meu enorme obrigado.

*“Se algum dia vi mais longe, foi por me apoiar em ombros de gigantes”*

*Isaac Newton*



## RESUMO

Os impactos ambientais associados ao setor da construção são uma das maiores preocupações da última década. Estima-se que cerca de 40% dos recursos naturais do planeta são direcionados para este setor, recursos estes que são cada vez mais escassos e que continuam a ser explorados acima da sua taxa de renovação, apesar da constante sensibilização para a sua exploração controlada e sustentável. Esta realidade é agravada pela mão de obra não qualificada que caracteriza o setor e pelos métodos convencionais que se mantiveram estanques à evolução tecnológica e que não são de todo o caminho a trilhar no sentido de alcançar as metas preconizadas pelas várias regulamentações em vigor na Europa e a nível mundial. Assim, é de extrema importância que surjam mais métodos, cada vez mais eficazes, no sentido de reduzir os impactos ambientais do setor da construção atendendo às particularidades que o setor possui e sob uma perspetiva global da sua ação, ou seja, considerando o ciclo de vida das construções.

Com a presente dissertação desenvolveu-se uma base de dados de impactos ambientais de ciclo de vida de materiais de construção, com foco nas soluções construtivas de paredes exteriores. A base de dados inclui os impactos ambientais de ciclo de vida atualizados de cada material de construção considerado, quantificados através da aplicação do método da Análise de Ciclo de Vida (ACV), o seu desempenho térmico, caracterizado através do nível do coeficiente de transmissão térmica e, ainda, os custos de ciclo de vida associados. A mesma possui ainda 28 soluções construtivas de paredes exteriores já montadas e passíveis de serem diretamente consultadas. A base de dados desenvolvida foi posteriormente inserida numa ferramenta informática criada para a presente dissertação que permite uma interação ao nível de todos os materiais de construção e que tem em consideração o impacto ambiental do seu transporte. Desta forma, será possível aos agentes do setor da construção escolherem e introduzirem soluções construtivas que possuam menores impactos ambientais de ciclo de vida de forma expedita e sem formação especializada. Além disso, através da ferramenta informática, intitulada de LCA PTool, será possível comparar soluções construtivas no sentido de ser feita a melhor escolha, suportando assim a tomada de decisão. Por fim, a base de dados e a ferramenta informática desenvolvida poderão ser utilizados como material pedagógico em diferentes cursos onde se pretenda desenvolver competências no contexto da Construção Sustentável.



## ABSTRACT

The environment impacts associated with the construction sector are one of the major concerns in the last decade. It is estimated that about 40% of the natural resources of the planet are used in this sector. Besides that, resources are increasingly scarce and continue to be explored above its renewal rate. This is happening even though there is constant awareness for its sustainable exploration. This reality is aggravated by the non-qualified labor workers present in the sector and by the conventional methods used. These methods have not evolved at the same pace as the technology evolution and this is not the path to achieve the defined goals by the various regulations at stake in Europe and all over the world. Therefore, it is of extreme importance that new and more effective methods rise in order to reduce the environmental impacts of the construction sector. At the same time, the particularities of the sector should be addressed considering a global perspective of its action, that is, considering the life cycle of the constructions.

With the present dissertation, a database of the life cycle environmental impacts of construction materials has been developed with the focus on the exterior walls as construction solution. This database includes the updated life cycle environment impacts of each considered construction material, quantified using the LCA – Life Cycle Assessment – method, and also its thermic performance, characterized by its coefficient of thermal transmission, and its associated life cycle costs. The database also has 28 exterior walls construction solutions already built that can be directly consulted. Following its development, the database was included in a software developed for this dissertation that allows the interaction of these construction materials while also considering its transport due to the environmental impact. In this way, it will be possible for stakeholders of the construction sector to choose and introduce construction solution that possess less life cycle environment impacts in an expeditious way and without specialized training. Also, with the use of this software, named LCA PTool, it is possible to compare construction solutions with the aim of making the best choice and supporting the decision-making processes. Lastly, the database and the developed software can be used as pedagogical material in different courses with the aim of developing competences on sustainable construction.





## ÍNDICE

<b><u>1</u></b>	<b><u>ENQUADRAMENTO</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1	INTRODUÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
<b><u>2</u></b>	<b><u>ESTADO DA ARTE</u></b>	<b><u>7</u></b>
2.1	A “CRISE” AMBIENTAL	7
2.1.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	8
2.1.2	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	10
2.1.3	BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	13
2.1.4	IMPACTES AMBIENTAIS	16
2.1.5	IMPACTES AMBIENTAIS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO	16
2.1.6	DECISÕES POLÍTICAS NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	18
2.2	ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	19
2.2.1	ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	19
2.2.2	DEFINIÇÃO E VARIANTES DA ACV	21
2.2.3	FASES DA ACV	23
A)	OBJETIVO E ÂMBITO	23
B)	INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)	24
C)	AVALIAÇÃO DOS IMPACTES DE CICLO DE VIDA (AICV)	25
D)	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	29
2.2.4	BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DA ABORDAGEM ACV	29
2.3	ACV NO SETOR DA CONSTRUÇÃO	30
2.4	BASES DE DADOS E FERRAMENTAS ACV	32
<b><u>3</u></b>	<b><u>METODOLOGIA ADOTADA PARA DESENVOLVIMENTO DA BASE DE DADOS</u></b>	<b><u>35</u></b>
3.1	QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS	37
3.2	QUANTIFICAÇÃO DAS QUANTIDADES DE MATERIAL	41
3.2.1	ESTRUTURAS DE SUPORTE	41
3.2.2	ISOLAMENTOS E REVESTIMENTOS	43



<b>3.3</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA U</b>	<b>43</b>
<b>3.4</b>	<b>CUSTOS DE CICLO DE VIDA (CCV)</b>	<b>46</b>
<b>3.5</b>	<b>ESTRUTURA DA BASE DE DADOS</b>	<b>48</b>
<b>3.6</b>	<b>APLICAÇÃO INFORMÁTICA DA BASE DE DADOS DESENVOLVIDA</b>	<b>50</b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>APRESENTAÇÃO DO LCA PTOOL</u></b>	<b><u>53</u></b>
<b>4.1</b>	<b>APLICAÇÃO PRÁTICA DO LCA PTool</b>	<b>59</b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS</u></b>	<b><u>69</u></b>
	<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>73</u></b>
	<b><u>ANEXO 1 – LISTA DE MATERIAIS BASE E LISTA DE TRANSPORTES</u></b>	<b><u>81</u></b>
	<b><u>ANEXO 2 – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE PAREDES EXTERIORES (OBTIDAS PELO LCA PTOOL)</u></b>	<b><u>87</u></b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Evolução do conceito Desenvolvimento Sustentável .....	9
Tabela 2.2 - A construção sustentável nos planos curriculares das dez melhores colocadas universidades que lecionam Engenharia Civil.....	14
Tabela 2.3 - Categorias de impacto ambiental para a ACV segundo o CEN/TC350 para a construção .....	22
Tabela 2.4- Análise de ferramentas ACV existentes. Cor verde denota avaliação positiva e cor vermelha negativa. ....	33
Tabela 3.1- Categorias de impacto ambiental, respectivos métodos ACV e unidades consideradas para quantificação da base de dados. ....	38
Tabela 3.2- Excerto da base de dados referente às propriedades térmicas da solução construtiva de parede exterior número 2.....	45
Tabela 3.3- Excerto da base de dados referente às propriedades térmicas da solução construtiva de parede exterior número 23.....	46
Tabela 3.4- Excerto da base de dados referente à integração dos Custos de Ciclo de Vida, solução construtiva referenciada pelo número 23.....	48
Tabela 3.5- Solução construtiva de parede exterior (PExt 23), excerto da base de dados desenvolvida .....	49
Tabela 4.1– Resistência Térmica de alvenarias simples em função do tipo de elemento e sua espessura .....	62
Tabela 4.2 Resistência Térmica de alvenarias duplas em função do tipo de elemento e sua espessura .....	63
Tabela A1. 1– Lista de materiais de construção e transportes definidos e respectivos impactos ambientais de ciclo de vida.....	81
Tabela A1. 2– Lista de materiais de construção e transportes definidos e respectivos impactos ambientais de ciclo de vida (continuação).....	85
Tabela A1. 3– Lista de materiais de construção e transportes definidos e respectivos impactos ambientais de ciclo de vida (continuação).....	86
Tabela A2. 1 - Solução construtiva Parede Exterior 1 .....	87
Tabela A2. 2– Solução construtiva Parede Exterior 2 .....	88
Tabela A2. 3– Solução construtiva Parede Exterior 3 .....	89
Tabela A2. 55 – Solução construtiva Parede Exterior 5 .....	90
Tabela A2. 4– Solução construtiva Parede Exterior 4 .....	90

Tabela A2. 6– Solução construtiva Parede Exterior 6 .....	91
Tabela A2. 7– Solução construtiva Parede Exterior 7 .....	92
Tabela A2. 8– Solução construtiva Parede Exterior 8 .....	93
Tabela A2. 9– Solução construtiva Parede Exterior 9 .....	94
Tabela A2. 10– Solução construtiva Parede Exterior 10 .....	95
Tabela A2. 11– Solução construtiva Parede Exterior 11 .....	96
Tabela A2. 12– Solução construtiva Parede Exterior 12 .....	97
Tabela A2. 13– Solução construtiva Parede Exterior 13 .....	98
Tabela A2. 15– Solução construtiva Parede Exterior 15 .....	99
Tabela A2. 14– Solução construtiva Parede Exterior 14 .....	99
Tabela A2. 16– Solução construtiva Parede Exterior 16 .....	100
Tabela A2. 17– Solução construtiva Parede Exterior 17 .....	101
Tabela A2. 18– Solução construtiva Parede Exterior 18 .....	102
Tabela A2. 19– Solução construtiva Parede Exterior 19 .....	103
Tabela A2. 20– Solução construtiva Parede Exterior 20 .....	104
Tabela A2. 21– Solução construtiva Parede Exterior 21 .....	105
Tabela A2. 22– Solução construtiva Parede Exterior 22 .....	106
Tabela A2. 23– Solução construtiva Parede Exterior 23 .....	107
Tabela A2. 24– Solução construtiva Parede Exterior 24 .....	108
Tabela A2. 25– Solução construtiva Parede Exterior 25 .....	109
Tabela A2. 26– Solução construtiva Parede Exterior 26 .....	110
Tabela A2. 27Solução construtiva Parede Exterior 27 .....	111
Tabela A2. 28– Solução construtiva Parede Exterior 28 .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pilares do desenvolvimento sustentável.....	10
Figura 2.2 - Abordagem das fases de ciclo de vida das construções, perspectiva integrada e sustentável .....	12
Figura 2.3 - O paradigma da construção sustentável, adaptado (adaptado de: Barroso, 2010) .....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 2.4 - Fases do ciclo de vida enquadradas com as respetivas variantes de análise ACV. ....	22
Figura 2.5 - Fases de implementação da ACV .....	23
Figura 2.7- Artigos publicados na plataforma ScienceDirect com as palavras-chave “LCA”, “ buildings” e “life cycle assessment” na categoria “Abstract, Title, Keywords” por ano.....	31
Figura 3.1 – Introdução dos materiais de construção na ferramenta SimaPro.....	39
Figura 3.3 – Resultados da análise CML Baseline 2000 .....	40
Figura 4.1 – Excerto da página inicial da ferramenta LCA_PTool .....	53
Figura 4.2 – Inserção de um novo material à base de dados do LCA_PTool.....	54
Figura 4.4 - Painel de inserção de dados de um novo material na ferramenta LCA_PTool....	56
Figura 4.6 – Tabela de dados de solução construtiva (PExt23), excerto do LCA_PTool .....	58
Figura 4.7 – Definição do tipo de transporte e distância a percorrer para entrega de materiais ao nível da funcionalidade “Comparar Soluções” do LCA_PTool.....	59
Figura 4.9 - Aplicação prática LCA PTool: Caracterização da alvenaria da solução construtiva nº23 (simples, tijolo maciço 22cm) .....	62
Figura 4.10 - Aplicação prática LCA PTool: Montagem da solução construtiva.....	64
Figura 4.11 - Aplicação prática LCA PTool: Resultado da introdução, caracterização e montagem da solução construtiva exemplo .....	65
Figura 4.12 - Aplicação prática LCA PTool: Resultado da comparação entre soluções construtivas 1, 11 e 23 (exemplo). ....	66
Figura 4.13 - Zona de administrador da ferramenta LCA PTool.....	67
Figura 4.14 – Edição de dados associados a um material base na área de administrador do LCA PTool.....	68
Figura 4.15 – Edição de soluções construtivas na zona de administrador do LCA PTool .....	68



## SIMBOLOGIA

ACV	Análise de Ciclo de Vida, do inglês, Life Cycle Assessment (LCA)
ADP	Esgotamento de Recursos Abióticos
AICV	Avaliação do Impacte de Ciclo de Vida
AP	Potencial de Acidificação do solo e água
cm	Centímetro
CCV	Custos de Ciclo de Vida
$C_c$	Custo de construção
$C_m$	Custo de manutenção
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
EMPA	Insituto para Teste de Materiais de Edifícios, do inglês, Building Materials Testing Institute
ENR	Energia Não Renovável
EP	Potencial de Eutrofização
EPBD Recast	Direção reformulada de desempenho energético dos edifícios, do inglês, Energy Performance of Buildings Directive Recast
ER	Energia Renovável
GWP	Potencial de Aquecimento Global
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
kg	Quilograma
km	Quilómetro
$\lambda$	Condutibilidade térmica
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
nZEB buildings	Edifícios energia quase zero, do inglês, nearly zero energy buildings
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ODP	Potencial de Destruição da camada de Ozono estratosférico
POCP	Potencial de formação de ozono troposférico
REPA	Registo Assessor de Propriedade Ambiental, do inglês, Registered Environmental Property Acessor
$R_{se}$	Resistência térmica da superfície exterior
$R_{si}$	Resistência térmica da superfície interior
$R_t$	Resistência térmica
U	Coefficiente de transmissão térmica
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, do inglês, United Nations Environment Programme

## 1 ENQUADRAMENTO

### 1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente verifica-se uma realidade preocupante quando se reflete e analisa o impacto que o setor da construção tem no Planeta, desde o esgotamento de recursos naturais à escassez de matérias-primas (Grigoletti, 2001). Estima-se que materiais como a pedra, gravilha, areia num total de perto de 40% dos recursos naturais são direcionados para atividades relacionadas com o setor da construção. A estes valores somam-se a energia e a água de que anualmente o setor da construção faz uso, sensivelmente 40% e 16%, respetivamente (Wernick e Ausubel, 2000). No entanto, a indústria da construção é um dos pilares da economia europeia, mas que nos dias de hoje ainda se depara com uma problemática que a acompanha desde sempre: mão-de-obra não qualificada e métodos convencionais que pecam pela sua estagnidade e não evolução temporal, uma realidade que não é, de todo, compatível com os desejos de um desenvolvimento sustentável. Um desenvolvimento sustentável cujo objetivo principal deverá passar por preservar os ecossistemas e a biodiversidade em que a vida do ser humano assenta e, ao mesmo tempo, encontrar um balanço entre a dimensão ambiental e as dimensões económica e social (Bragança e Mateus, 2005)

A par desta realidade que a sociedade tem vindo a enfrentar, começam a surgir regulamentações cada vez mais criteriosas no que concerne a consagração e reconhecimento de um edifício quanto à sua sustentabilidade. Com metas para 2020, foi também reformulada a diretiva EPBD (Direção do Desempenho Energético dos Edifícios) que, como o nome salienta, foca o desempenho a nível energético dos edifícios na Europa e que veio acompanhar os objetivos delineados anteriormente pela Conferências das Partes onde se definiu o Protocolo de Quioto. Trata-se também de uma realidade onde os edifícios são responsáveis por um consumo de 40% da energia total e por 36% das emissões de dióxido de carbono na Europa (Diretiva EPBD Recast, 2010). Nesta reformulação ficou estipulado que em 2020 todos os novos edifícios ao abrigo da União Europeia deverão alcançar necessidades energéticas quase nulas, ou seja, será de esperar que estes edifícios possuam um elevado desempenho e eficiência energética. Esta eficiência energética será assegurada essencialmente por fontes de energia renováveis o que vai diretamente de encontro com os objetivos de um desenvolvimento sustentável do ambiente construído (Mateus e Bragança, 2011). Embora

estas diretrizes não considerem diretamente as metodologias de ciclo de vida para os impactes ambientais, a sustentabilidade no setor da construção está ainda assim implícita e é tomada em conta, sendo este um exemplo de como as regulamentações e certificações têm evoluído no sentido de cada vez mais incutir e exigir uma mentalidade de preocupação pelo futuro e pelas próximas gerações. Este é um estudo bastante específico e pouco abordado nos cursos de engenharia civil e arquitetura tendo como resultado a reduzida qualificação por parte dos vários intervenientes no projeto de um edifício. A somar a este fator, existe ainda o fator *tempo* uma vez que estas tendem a ser abordagens morosas (Bragança e Mateus, 2005).

É assim impreterível que estas abordagens de avaliação dos impactes ambientais da construção e dos edifícios faça parte do dia-a-dia dos principais agentes responsáveis e ainda que cada vez mais surjam novas ferramentas que permitam aos agentes a implementação destas abordagens de maneira expedita, combatendo a morosidade associada a este processo, e intuitiva por forma a colmatar a falta de conhecimento e ainda apoiar as tomadas de decisão de forma a se atingir os objetivos preconizados nas atuais regulamentações.

Surge então nesse sentido esta dissertação que fornece uma atualizada base de dados referente ao impacte ambiental de ciclo de vida de 28 soluções construtivas de paredes exteriores, como elemento construtivo em foco, e ainda os impactes ambientais de ciclo de vida de 47 materiais de construção transversais às mais correntes soluções construtivas de pavimentos, coberturas, paredes interiores e exteriores.

Esta base de dados é apresentada em anexo e a mesma é posteriormente exportada e incluída na ferramenta informática desenvolvida, denominada de **LCA PTool**. A ferramenta desenvolvida na presente dissertação permitirá combater os obstáculos supracitados. Além disso, esta é uma ferramenta que aglomera ainda os custos de ciclo de vida das soluções construtivas e estuda o desempenho térmico do elemento construtivo ao nível do seu coeficiente de transmissão térmica, fornecendo assim mais elementos de apoio à tomada de decisão, ao mesmo tempo que abrange os restantes pilares do desenvolvimento e construção sustentável.



## **1.2 OBJETIVOS**

A sustentabilidade de edifícios tem sido cada vez mais um ponto de destaque e, atendendo ao conjunto de normas que atualmente se encontram em desenvolvimento, será de esperar que os critérios para certificação de edifícios evoluam no sentido de integrar o impacto ambiental incorporado de um edifício, impacto este que surge associado aos materiais adotados para cada solução construtiva.

Nesse âmbito, o objetivo principal desta dissertação é a elaboração de um método expedito de quantificação dos impactos ambientais associados a soluções construtivas, tendo como elemento construtivo em foco nesta dissertação as paredes exteriores. Pretende-se que, aquando da tomada de decisão relativa à escolha das soluções construtivas a adotar para um caso específico ou até generalista, o projetista, munido do método desenvolvido, seja capaz de tomar essa decisão corretamente sem morosidade e sem a necessidade de possuir um conhecimento especializado, aproximando essa solução da mais sustentável, principalmente do ponto de vista ambiental.

A ferramenta de apoio desenvolvida está disponível online sob o nome LCA PTool e permite a interação com o utilizador na medida em que este poderá criar a sua solução construtiva além da consulta das previamente inseridas. Além disso, pretende-se que a ferramenta desenvolvida seja ainda aplicada em contexto pedagógico no âmbito dos cursos de engenharia civil no sentido de facilitar a introdução à construção sustentável e o seu ensino em termos práticos. Desta forma, e como objetivos consequentes, será possível colmatar as lacunas e barreiras inerentes à aplicação da construção sustentável sendo as principais a falta de conhecimento do setor e dos futuros agentes e a morosidade da análise dos impactos ambientais de ciclo de vida.

O desenvolvimento deste método expedito, sob a forma de ferramenta informática, é então o objetivo principal que terá anexado a si um outro objetivo, o desenvolvimento de uma base de dados de impactos ambientais de ciclo de vida de soluções construtivas de paredes exteriores e ainda de um leque vasto de materiais para montagem de soluções construtivas de paredes interiores, pavimentos e coberturas. Esta base de dados será a base de apoio da ferramenta informática LCA PTool.

Ainda associado a esta base de dados está uma simples componente térmica, a análise do coeficiente de transmissão térmica, e orçamental, uma análise de custos de ciclo de vida contendo o custo de construção e o custo de manutenção, com o intuito de enriquecer e fortalecer a escolha do projetista e sem descuidar dos restantes pilares do desenvolvimento sustentável, o económico e o social.

Surge assim o interesse a vontade de gerar conhecimento e novas ferramentas que apoiem o setor da construção, sensibilizando os atuais e futuros agentes para a importância da aplicação do desenvolvimento sustentável na ótica de um futuro alcançável e salvaguardado.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação é constituída por 5 capítulos os quais são apresentados de seguida ao nível da sua organização e respetivo conteúdo.

O primeiro, e presente, capítulo denominado de enquadramento introduz o tema desenvolvido na dissertação. Começa por apresentar uma breve introdução onde se expõem as problemáticas inerentes a este estudo e à atualidade remetendo para a necessidade de avaliar os impactes ambientais de ciclo de vida por forma a minimizar as emissões e atingir as metas preconizadas nos tratados e protocolos em vigor. É discutido também o porquê da aplicação destas avaliações ser ainda tão reduzida e o resultado dessa abordagem não consciente na atualidade. Por fim são elencados os vários objetivos a que esta dissertação se propõe a apresentar solução e a organização da dissertação.

No segundo capítulo, o estado da arte, são apresentados os fundamentos teóricos que foram considerados durante a elaboração desta dissertação desconstruindo aos poucos o tema em estudo. Assim, a abordagem teórica começa por apresentar e estudar a “crise” ambiental mencionada, abordando a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável com um pequeno enquadramento histórico, remetendo para o posterior aparecimento da construção sustentável, as principais barreiras à sua implementação e as metas a cumprir em termos de regulamentações. De seguida é estudada a análise de ciclo de vida, uma vez que este será o método a utilizar para a avaliação dos impactes ambientais dos materiais e soluções

construtivas. Por esse motivo é necessário apresentar este método em termos da sua aplicação, suas fases, benefícios e limitações e ainda o seu uso no setor da construção. Por fim, o terceiro subtítulo apresenta as ferramentas atualmente existentes para a avaliação de impactos ambientais e suas limitações em comparação com a ferramenta desenvolvida na presente dissertação, o LCA PTool, denotando a lacuna que a ferramenta vem colmatar.

O terceiro capítulo, metodologia adotada para o desenvolvimento da base de dados, introduz a metodologia e considerações tomadas em conta para o desenvolvimento da base de dados e apresenta as bases em que a ferramenta informática LCA PTool foi desenvolvida.

Posteriormente, no quarto capítulo, a ferramenta informática é apresentada em detalhe ao nível das suas funcionalidades e é feita a sua exemplificação com soluções construtivas inseridas na base de dados de soluções construtivas de paredes exteriores que foi desenvolvida, sendo possível observar e entender de melhor forma as suas funcionalidade, abrangência e facilidade de utilização aquando da interação com o utilizador e ao mesmo tempo fazer o paralelismo entre as suas funcionalidades e os objetivos perspectivados inicialmente com este trabalho.

Por fim, o quinto capítulo, conclusões e perspetivas futuras, aglomera o conjunto de conclusões que se descreveram na análise da ferramenta e da base de dados dos capítulos anteriores e ainda as dificuldades e obstáculos da realização deste trabalho e estudo. Neste capítulo são ainda incluídas algumas propostas de melhoria para estudos futuros e que permitam complementar o estudo realizado.



## 2 ESTADO DA ARTE

A revisão bibliográfica, ou estado da arte, de seguida apresentado procura essencialmente dar a conhecer ao leitor o ponto de situação em termos da atualidade do tema abordado na presente dissertação. A mesma explicará os conceitos chave para a sua melhor compreensão possível ao longo da leitura. Abordará, assim, a atualidade ao nível dos impactes ambientais e os seus conceitos fulcrais como o desenvolvimento e construção sustentável e respetivas regulamentações em vigor. Terá também em conta a análise utilizada para a avaliação dos mesmos impactes ambientais, a análise de ciclo de vida (ACV), sendo descrito a mesma ao nível das suas variantes e fases, benefícios e limitações. Será ainda feito seu enquadramento ao nível da sua aplicação no setor da construção. Por fim, e como os resultados são apresentados sob a forma de uma base de dados inserida numa ferramenta informática desenvolvida, é pertinente apresentar as ferramentas já existentes que permitem estimar os impactes ambientais de materiais e processos, as falhas encontradas ao nível das necessidades atuais do setor ao nível da sustentabilidade e que explicação para o não uso das mesmas.

De salientar ainda que, além da apresentação das bases teóricas e o atual desenvolvimento de cada um dos tópicos supracitados, o presente estado da arte irá incidir sobre a elevada pertinência inerente a esta dissertação, demonstrando as necessidades que vem colmatar sendo elas: (1) necessidade de combater de forma eficaz os elevados impactes ambientais (gravemente associados ao setor da construção), (2) falta de conhecimento nas áreas da sustentabilidade; e (3) morosidade nos processos de avaliação, em termos da sustentabilidade, das opções tomadas, sendo que a falta de conhecimento mencionada será combatida tanto em termos comerciais, como ferramenta de apoio ao atuais agentes do setor da construção, como em termos pedagógicos, analisando a inclusão desta temático nos cursos de engenharia civil nas universidades do nosso país.

### 2.1 A “CRISE” AMBIENTAL

A realidade atual é uma realidade que dá uma data limite ao planeta. Uma data a partir da qual os recursos se esgotam e a sociedade fica sem opções. Os números falam por si e os julgamentos são aproximadamente factos (Grigoletti, 2001). Só no setor da construção é

possível assistir a uma utilização de cerca de 40% dos recursos naturais e a mesma percentagem é observável ao nível do consumo de energia (Wernick e Ausubel, 2000). É impreterível que se mudem mentalidades e políticas e se criem planos de ação cada vez mais eficazes no sentido de dar um novo fôlego às gerações vindouras e cada vez menos passos no sentido de uma “crise” ambiental. Passos que se deverão rever numa ótica de desenvolvimento sustentável.

### 2.1.1 Desenvolvimento sustentável

Os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável ganharam bastante destaque na segunda metade do século XX, nos anos 60 e 70, numa época onde o fator económico se sobrepunha ao fator ambiental essencialmente causado pela revolução industrial e o impacto que a mesma teve. Este pensamento surge essencialmente da consciencialização do Homem para a degradação do meio ambiente em que habita, coabita e desenvolve toda a sua atividade. No entanto, o reconhecimento desta problemática não resulta instantaneamente na sua total compreensão, sendo este um termo ao qual está associado um processo evolutivo extenso (Leal, 2006). Em 1987 surge uma definição, que nos dias de hoje reúne maior aceitação por intermédio de Gro Harlem Brundtland, ex-primeira ministra da Noruega no relatório *Our Common Future* também conhecido por Relatório de Brundtland: “*Desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades*” (Brundtland, 1987). Este foi o ponto de partida, para aquela que seria, uma nova era dedicada à complexidade deste conceito e que se foi complementando e debatendo em inúmeros eventos e conferências, um processo que pode ser acompanhado na Tabela 2.1.

Esta crescente consciencialização é fortalecida com os acontecimentos que se viriam a presenciar nessa última década: O naufrágio do superpetroleiro Arnoco Cadiz em 1978 que derramou cerca de 227 mil toneladas de crude no mar da costa francesa e considerado um dos maiores derrames de petróleo registados na história; a descoberta do buraco na camada de ozono sobre a Antártica por cientistas americanos e ingleses em 1985; e ainda o acidente nuclear de Chernobyl, Ucrânia, em 1986. Todos estes acontecimentos deram relevo e visibilidade à causa ambiental, que vinha de igual modo a receber destaque, mas nunca a ritmo prioritário, e levaram os governos e as principais potências mundiais a refletir sobre a ligação entre o desenvolvimento económico e o ambiente com especial ênfase na exploração e

uso de recursos energéticos e o seu impacto na biodiversidade e em todos os ecossistemas existentes (IISD, 2007).

Tabela 2.1 - Evolução do conceito Desenvolvimento Sustentável

Relatório <i>Our Common Future</i> ou Relatório de Bruntland, 1987	“Desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.”
Declaração do Rio sobre o ambiente e desenvolvimento, 1992	“ (...) com o objetivo de estabelecer uma nova e equitativa participação global através da criação de novos níveis de cooperação entre as Nações, os setores chave das sociedades e das populações trabalhando para os acordos internacionais que respeitem os interesses de todos e protejam a integridade do ambiente global e do sistema de desenvolvimento, reconhecendo a natureza e interdependente da terra, a nossa casa (...) ”
Civil Engineering Research Foundation, 1996	“ (...) o desafio de responder às necessidades humanas de recursos naturais, produtos industriais, energia, alimentos, transportes, abrigo e gestão de resíduos efetiva, enquanto se conserva e protege a qualidade ambiental e a base de recursos naturais para o desenvolvimento futuro.”
Tratado de Amsterdão, 1997	“Determinado para promover o progresso económico e social para os seus povos, tendo em conta o princípio de desenvolvimento sustentável no contexto de atingir a proteção do mercado interno, a coesão interna reforçada e a proteção ambiental, para implementar políticas que assegurem que os avanços na integração económica são acompanhadas por progressos paralelos noutras áreas”

O desenvolvimento sustentável pretende assim que o mundo se desenvolva de uma maneira sustentável e coerente tendo em consideração as problemáticas ambientais, atuais e expectáveis, e proporcionando melhores condições de vida sem prejudicar as futuras gerações.

O modelo de desenvolvimento sustentável procura combinar três vertentes: social, ambiental e económica (Figura 2.1). Estas três vertentes deverão estar em equilíbrio e harmonia para que



Figura 2.1 - Pilares do desenvolvimento sustentável (Serpil, 2016)

uma sociedade se possa apelidar de sustentável e não prejudicar assim as gerações futuras (Matos, 2004).

Para uma assertiva avaliação destes três pilares do desenvolvimento sustentável devem-se ter em conta alguns dos seus indicadores de sustentabilidade sendo eles, a nível ambiental, as alterações climáticas, destruição da camada de ozono, acidificação, eutrofização, formação de oxidantes fotoquímicos, esgotamento de recursos não-renováveis e formação de poluentes, a nível económico o investimento, utilização, desconstrução e tratamento de resíduos, desenvolvimento do valor económico da construção e suas receitas geradas e, a nível social, a qualidade dos edifícios, seus efeitos a nível de segurança e saúde de utilizadores, acessibilidade, satisfação dos utilizadores, qualidade arquitetónica e proteção do património cultural, a nível social (ISO/TC 21929-1, 2006)

### 2.1.2 Construção Sustentável

O setor da construção é, como já referido, um dos setores que mais contribui para a estatística com que atualmente a sociedade se depara, quer ao nível da sobreexploração de recursos, como ao nível da elevada quantidade de resíduos produzidos. Nesse sentido, e a par da evolução do conceito de *desenvolvimento sustentável*, surge em 1994 a primeira definição de *Construção Sustentável*. O conceito surge aquando da Primeira Conferência Mundial sobre a Construção Sustentável que decorreu em Tampa, Flórida e é o que melhor reflete os objetivos do



desenvolvimento sustentável adaptados ao setor da construção. O principal objetivo tem que ver com a aplicação de medidas sustentáveis para o setor da construção baseando-se em princípios ecológicos e na exploração/uso responsável de recursos por forma a salvaguardar o futuro enquanto atende às necessidades atuais (Pinheiro, 2003). Na mesma conferência, Charles Kibert delineou ainda um conjunto de premissas fundamentais, “*Os sete princípios da construção sustentável*” que estruturam o conceito em questão sendo os mesmos enumerados de seguida (Kibert, 2002):

- Reduzir - o consumo de recursos;
- Reutilizar - os recursos o máximo possível;
- Reciclar - uso de recursos recicláveis e reaproveitar os resíduos da demolição;
- Natureza - Proteger o meio ambiente e todos os seus sistemas;
- Materiais tóxicos - Eliminar os produtos tóxicos;
- Economia - Análise e incorporação do custo total nas tomadas de decisão;
- Qualidade - Sensibilizar e incentivar para a qualidade do ambiente construído;

Estas são as premissas que sustentam a ideologia e o conceito de construção sustentável e que vão ao encontro do principal objetivo desta dissertação, uma vez que esta pretende apoiar a tomada de decisão de construtores e projetistas nas várias fases de projeto tendo em consideração as diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios e como estas interagem entre si como um todo. A análise de ciclo de vida será abordada na íntegra ainda neste capítulo. Na Figura 2.2 é possível observar um esquema que ilustra os princípios já enumerados aliados às várias fases de ciclo de vida da construção e respetivos intervenientes. O ciclo de vida de um edifício pode-se definir como o período de tempo desde a conceção até à demolição (fim de vida) do edifício. A análise dos vários princípios enumerados ao longo das fases de ciclo de vida do edifício permite uma abordagem mais completa e real uma vez que grande parte das construções da atualidade podem ter um tempo de vida igual ou superior a 50 anos (Pinheiro, 2006). O grande desafio do desenvolvimento sustentável associado ao setor da construção prende-se assim com a grande mudança que este exige: o recurso a energias renováveis em detrimento das energias não renováveis, a redução dos níveis de produção de resíduos para níveis de reutilização e reciclagem elevados e a abordagem integrada do custo total de ciclo de vida da construção contra o custo mínimo inicial de aquisição de materiais (Kibert, Sandzimir, & Bradley, 2002). Este é de facto um desafio na medida em que expande a construção convencional, assente na simples tríade custo-tempo-qualidade, para uma

metodologia mais abrangente que tem em conta a qualidade de vida e do ambiente construído (ambiente), o desenvolvimento economicamente sustentável (economia) e a equidade social a par da herança ou legado cultural (social), ou seja, o incremento da dimensão social e ambiental num panorama que considerava apenas a dimensão económica (Barroso, 2010). Na Figura 2.3 pode-se observar este novo paradigma da construção sustentável

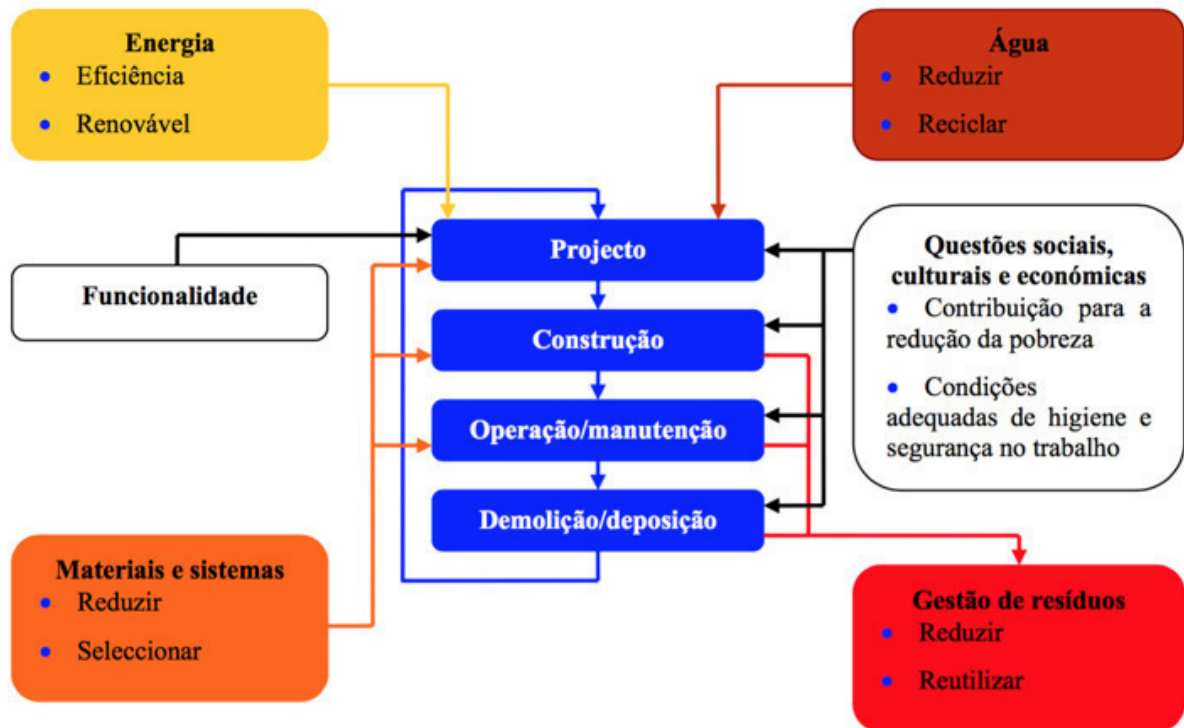


Figura 2.2 - Abordagem das fases de ciclo de vida das construções, perspectiva integrada e sustentável (Mateus, 2009)

### 2.1.3 Barreiras à implementação da construção sustentável

Apesar da construção sustentável apresentar um leque de vantagens vasto, a sua aplicação ainda não é linear nem facilitada em alguns casos. Cada setor económico tem as suas características e a adoção de sistemas e processos, tendo em conta o desempenho ambiental que se pretende, requer uma abordagem cuidada para então viabilizar a mesma. Estas características únicas são barreiras ao alcance das metas e objetivos que preconiza a construção sustentável e em termos mais abrangentes o próprio desenvolvimento sustentável. As principais barreiras à disseminação do conceito de construção sustentável são (Mateus, 2009):

- Financeiras
  - Análise de custos focada nos custos de construção, em detrimento da avaliação dos custos de ciclo de vida;
  - Grande parte dos decisores apresenta uma mentalidade que inviabiliza os conceitos “rentabilidade de investimento” e “sustentabilidade”;
  - Custos de capital mais elevados;
- Técnicas
  - Multidisciplinaridade e duração do ciclo de vida;
  - Mão-de-obra com reduzida informação e *know-how*;
  - Ensino ainda remete demasiado para soluções e tecnologias convencionais;
  - Industrialização precária do setor;
  - Heterogeneidade dos produtos;
- Outras
  - Falta de políticas de apoio ao desenvolvimento sustentável na construção;
  - Decisores ainda sem a sensibilidade ou conhecimento necessários;
  - Risco percecionado como elevado;
  - Falta de consensualidade sobre o conceito “construção sustentável”;

Com o presente trabalho de dissertação pretende-se ultrapassar algumas destas barreiras à implementação da construção sustentável inseridas nestas três categorias supracitadas. A introdução do custo de ciclo de vida associado a cada solução construtiva permitirá ter uma avaliação mais coerente e integrada do custo do edificado e ao mesmo contribuir para o desenvolvimento de mentalidades mais abertas à comunhão dos conceitos “rentabilidade do investimento” e “sustentabilidade”. A disponibilização da informação relativa aos impactos

ambientais associados a cada material e solução construtiva apoiará ao nível da falta de conhecimento que se verifica em termos técnicos na generalidade das equipas e agentes envolvidos em projetos. Uma falta de conhecimento que é compreensível dado o panorama do ensino da engenharia civil em Portugal. De facto, e por análise dos cursos de engenharia civil das dez universidades melhores colocadas (ranking web Universidades, 2017) nas quais se desenrola este curso, é possível constatar que a construção sustentável é um tema muito pouco abordado, o que leva ao pouco conhecimento na área. Na Tabela 2.2 é possível verificar a análise feita ao nível das dez universidades. Como é possível observar, das dez universidades analisadas apenas o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa não aborda a tema construção Sustentável no seu plano curricular, possuindo uma pós-graduação focada no mesmo. No entanto, a grande maioria das universidades leciona as unidades curriculares de Construção Sustentável, ou similares, no último ano da formação no perfil de especialização de Construções, o que limita o número de alunos formados em Engenharia Civil com conhecimentos nesta área.

Tabela 2.2 - A construção sustentável nos planos curriculares das dez melhores colocadas universidades que lecionam Engenharia Civil

<b>Instituição de Ensino</b>	<b>Ciclo de Estudos</b>	<b>Unidade Curricular</b>	<b>Ano e/ou Especialização</b>	<b>Fonte</b>
Universidade do Minho	Mestrado Integrado	Construção Sustentável	5º ano Construções	uminho.pt
Instituto Superior de Engenharia do Porto	Licenciatura <u>Mestrado</u>	Construção Sustentável	2º ano Construções	isep.ipp.pt
Instituto Superior Técnico	Mestrado Integrado	Espaços Construídos e Impactes Ambientais	5º ano Construções	fenix.tecnico.lisboa.pt
Faculdade Ciências Tecnologias UNL	Licenciatura Mestrado	Não possui	-	fct.unl.pt

Universidade de Aveiro	Mestrado Integrado	Avaliação de Impacte Ambiental	5º ano Construções	ua.pt
Universidade da Beira Interior	Mestrado Integrado	Impactes Ambientais	5º ano Construções	ubi.pt
Universidade de Coimbra	Mestrado Integrado	Construção sustentável	5º ano Construções	apps.uc.pt
Faculdade de Engenharia da U. Porto	Mestrado Integrado	Impactes Ambientais e Sociais	2º ano Plano curricular geral	sigarra.up.pt
Instituto Superior Engenharia do Porto	Licenciatura <u>Mestrado</u>	Sustentabilidade na construção	2º ano Edificações	Isel.pt
Univerisdade de Trás-os-Montes e Alto Douro	Licenciatura <u>Mestrado</u>	Impactes Ambientais	2º ano s/ especialização	Utad.pt

Tabela 2.2 - A construção sustentável nos planos curriculares das dez melhores colocadas universidades que lecionam Engenharia Civil (conclusão)

A somar a isto, há ainda o caso de esta ser uma unidade curricular muitas das vezes opcional, o que agrava ainda mais esta situação sendo por isso essencial definir estratégias para que se desenvolvam competências nesta área nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura.

Por fim, a falta de sensibilidade para os conceitos de sustentabilidade é igualmente colmatada e ultrapassada através da informação disponibilizada na base de dados desenvolvida que permite recorrer a soluções construtivas previamente inseridas na mesma e escolher facilmente a melhor solução do ponto de vista da sustentabilidade.

Reforça-se assim a necessidade de mais e melhores ferramentas de apoio à implementação dos conceitos de desenvolvimento e construção sustentável que visem combater as barreiras já enumeradas.

### **2.1.4 Impactes Ambientais**

Impacte ambiental define-se como uma alteração ou conjunto de alterações de cariz favorável ou desfavorável traduzidas em parâmetros ambientais em tempo e área determinada e como resultado da realização de um projeto em comparação com a sua não realização. (Pinheiro, 2006)

Estes impactes ambientais resultam essencialmente de interação entre o ser humano e o ambiente natural e que, com o exponencial crescimento populacional, aumentam proporcionalmente (Mateus, 2009). Quantificando este aumento, é de salientar a duplicação da população global desde 1950 até ao início do século XXI, um crescimento que pressupõe maior atividade humana e conduzindo assim, juntamente com o desenvolvimento tecnológico e económico, a um consumo cada vez maior de recursos. (UNPD, 1999 & US CENSUS BUREAU, 2007).

### **2.1.5 Impactes ambientais no setor da construção**

A maior parte da população despende do seu tempo no interior de edifícios, por ser o local onde habita, o local onde trabalha ou o local onde passa os seus tempos lúdicos. O setor da construção é um dos sectores económicos que menos se desenvolveu, mais uma vez denotando a já referida falta de conhecimento de novas tecnologias e métodos além dos mais tradicionais. Claramente esta realidade compromete os objetivos a que se propõe o desenvolvimento sustentável e é por isso de salientar, uma vez mais, o objetivo desta dissertação em combater a falta de conhecimento que impede muitas das vezes uma avaliação integrada do ciclo de vida de uma construção e todos os impactes associados à mesma. Talvez o exemplo mais perceptível do resultado desta dualidade no aumento dos padrões de conforto e da evolução tecnológica, será o importante aumento do consumo energético ao nível do setor residencial. Esta situação denota em muito a falta de soluções mais eficazes e, na base de tudo, a falta de conhecimento.

O setor da construção é um setor que por si só apresenta características que o tornam um desafio a vários níveis. As suas principais características são (Mateus, 2009): (1) ciclo de vida das construções apresenta elevada duração; (2) a durabilidade das construções está sujeita a

factores muito variáveis, como a ação climática; (3) atendendo à baixa industrialização do setor, cada caso em estudo é um caso particular, isto é, os processos e métodos de construção adotados e o resultado final são sempre diferentes; e (4) a multidisciplinaridade dos intervenientes associados aos inerente ao ciclo de vida

Estes são desafios que acompanham transversalmente os processos e atividades deste setor e que, inevitavelmente, se interligam com os três pilares do desenvolvimento sustentável. A abrangência da construção, presente no dia a dia da grande parte da população mundial, faz deste um setor com elevadíssimo impacto não só na economia e na própria sociedade, mas também no ambiente. Em termos ambientais destaca-se a ocupação e uso do solo, o consumo de água e energia, a produção de resíduos e a alteração dos ecossistemas naturais e respetivos ambientes envolventes.

O Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) delineou um conjunto de impactes ambientais e sociais considerados como mais importantes associados à construção, sendo eles:

- Extração de recursos e matérias-primas, a qual contribui para o esgotamento dos recursos naturais;
- Decréscimo de biodiversidade por alteração do uso do solo;
- Produção de ruído e resíduos;
- Exploração de recursos energéticos e suas emissões de gases de efeito de estufa;
- Restantes emissões;
- Cidades com aspeto degradado;
- Utilização de água e águas residuais produzidas;
- Necessidade crescente de transporte (variável consoante o planeamento urbano);
- Efeito do transporte de materiais;
- Oportunidade para corrupção;
- Rotura de comunidades;
- Riscos de saúde para os trabalhadores e ocupantes do edificado;

Estes impactes ambientais, no caso referentes essencialmente ao setor da construção, devem ser avaliados ao longo do ciclo de vida das construções, desde a fase de concepção à fase de demolição (Mateus, 2009)

O setor da construção quando avaliado em termos globais revela facilmente o panorama gravoso relativamente aos impactes ambientais que a sua atividade traduz. Aproximadamente 40% dos materiais extraídos por ano são direcionados para a construção (Wernick & Ausubel, 2000) e 25% a 40% da energia total consumida também, de acordo com a Organização para a Cooperação Económica e Desenvolvimento (OCDE) e ainda 40% das emissões totais de dióxido de carbono (UNEP, CIB & CSIRCIDB, 2002). Estima-se ainda que em 2030 as emissões aumentem para 62% comparativamente com o ano de 2002, com um crescimento associado de 1,7% ao ano (IEA, 2004). Números preocupantes e que reforçam uma ideia de “crise” ambiental caso não surjam melhores e novos métodos, ferramentas e processos capazes de contrariar este crescimento por alteração de mentalidades e facilitação de cálculos, avaliações e tomadas de decisão.

#### **2.1.6 Decisões políticas no contexto da Construção Sustentável**

Com vista à redução dos impactes sobre o ambiente e em prol da preservação das gerações futuras, protocolos e diretivas envolvendo um elevado número de países têm vindo a surgir nos últimos anos.

Em 1997 surge o Protocolo de Quioto com o objetivo de sensibilizar os países industrializados e economias em fase de desenvolvimento para a redução da emissão total de gases de efeito de estufa em pelo menos 5% entre 2008 e 2012 comparativamente aos níveis verificados em 1990. No entanto, para que o protocolo entrasse em vigor era necessário que houvesse uma adesão por parte de pelo menos 55 países e que constituíssem pelo menos 55% das emissões totais em 1990. Em 2004, apesar da adesão de 123 países, os mesmos apenas representavam 40% das emissões totais pelo que o protocolo só entrou totalmente em vigor a partir de 2005 com a ratificação da Rússia em Novembro de 2004 (IEA, 2004, Mateus, 2009).

Em 2012, aquando da 18ª Conferência das Partes que teve lugar no Qatar ficou acordada a extensão do Protocolo de Quioto até 2020. No mesmo ano, Japão, Rússia, Canadá e Nova Zelândia decidem afastar-se do protocolo ficando o mesmo ao abrigo de apenas 36 países (Abreu, Albuquerque e Freitas, 2014).



Com o objetivo de cumprir os objetivos estabelecidos por este protocolo, a Comissão Europeia adotou em 2002 a Diretiva para a Energia e Desempenho de Edifícios que viria a ser reformulada para a *EPBD Recast* de 2010 com as seguintes metas a alcançar até 31 de Dezembro de 2020 (EPBD, 2010):

- Redução das emissões de gases de efeito de estufa em 20% de acordo com os níveis registados em 1990;
- Recurso a fontes energéticas renováveis num mínimo de 20% da energia;
- Aumento da eficiência energética em 20%

Esta diretiva requer ainda que a partir de 2021 todos os novos edifícios sejam *nZEB*, *nearly zero energy buildings*, isto é, que os edifícios possuam elevada eficiência energética com capacidade para produzir energia através de fontes renováveis aproximadamente igual à quantidade de energia que consomem através de fontes não renováveis. No entanto, autoridades públicas que possuam ou ocupem um edifício novo deverão liderar o movimento e dar o exemplo tendo até 2019 para o fazer. A implementação de planos de ação para atingir as metas fica a cargo de cada país sendo que os mesmos deverão ainda estimular a mudança dos edifícios renovados/remodelados igualmente para a abordagem *nZEB* (EPBD, 2010).

## 2.2 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Atualmente, a metodologia de avaliação de ciclo de vida é a mais utilizada para avaliação dos impactes ambientais, sendo esta abordagem explicada em detalhe nas secções seguintes desta dissertação.

### 2.2.1 Enquadramento histórico

O termo análise de ciclo de vida (ACV), frequentemente usado na sua versão inglesa *Life Cycle Assessment* (LCA), foi usado pela primeira vez em 1990 nos Estados Unidos da América (EUA) sendo até então denominado, desde os anos 70, de *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) (Hunt e Franklin, 1996).

Nesta época teria sido realizado um primeiro estudo ambiental (REPA) que quantificou as necessidades em termos de recursos, emissões e resíduos de várias embalagens de bebidas. O estudo em questão realizou-se em 1969 por intermédio do *Midwest Research Institute* (MRI) para a empresa Coca Cola. Mais tarde, nos finais de 1972, surge um novo estudo também por

parte do MRI, desta vez em embalagens de cerveja e sumo. O estudo foi considerado particularmente ambicioso na medida em que contabilizou não só o processo de fabrico das embalagens, mas também as fases de distribuição, uso e a linha de produção de vários materiais, entre os quais o vidro, o alumínio e o plástico (Ferreira, 2004), marcando ainda os primeiros passos para o posterior desenvolvimento da análise de ciclo de vida (Guinée, 1995). Mais tarde, em 1984, o Laboratório Federal Suíço para o Teste e Investigação de Materiais publica um relatório muito importante com o principal objetivo de aglomerar os materiais de embalagens mais importantes sob a forma de base de dados com a introdução de um método capaz de normalizar e agregar as emissões para o ar e para a água utilizando as normas na altura em vigor (Finkel, 1997).

Nos anos 90, o crescimento das atividades de ACV na Europa e nos EUA foi notório, notando-se um crescimento no número de formações organizados principalmente pela “Society of Environmental Toxicology and Chemistry” (SETAC). Esta organização desempenha um papel fulcral na reunião de profissionais, utilizadores e investigadores que colaboraram no aprimoramento da metodologia ACV (Gabathuler, 1997).

Em 1992, a Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou um comité técnico (TC 207/SC 5) com o intuito de normalizar abordagens de gestão ambiental, incluindo a ACV (Tibor e Feldman, 1996). As normas que atualmente vigoram para a definição, enquadramento e exigência de uma ACV são duas:

- ISO/FDIS 14040 2006 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Enquadramento;
- ISO/FDIS 14044 2006 - Gestão Ambiental - Requisitos e diretrizes;

Estas duas normas vieram a substituir, a 01 de Julho de 2006, as quatro normas até à data em vigor: ISO 14040; ISO 14041; ISO 14042 e ISO 14043 (Mateus e Bragança, 2011).

A ACV tem vindo a evoluir e hoje é mais que um simples método de comparação de produtos. Hoje a ACV permite alcançar objetivos mais abrangentes como é o da sustentabilidade, sendo essencial que esta ferramenta se continue a desenvolver a nível internacional, não se limitando um produto, material ou processo a uma região ou país (Ferreira, 2004).

### 2.2.2 Definição e variantes da ACV

A análise de ciclo de vida (ACV) define-se como uma abordagem analítica com o propósito de avaliar quantitativa e qualitativamente os impactos ambientais de um produto ou processo com base no seu ciclo de vida. As aplicações mais importantes desta abordagem são (Bragança e Mateus, 2011):

- Análise da contribuição das diversas fases do ciclo de vida para o impacto ambiental global (permitindo delinear as propriedades na escolha de materiais e/ou produtos);
- Comparação entre produtos para comunicação interna ou externa;

A avaliação de ciclo de vida apresenta três variantes de acordo com as fases de ciclo de vida, sendo elas (Mateus, 2009):

*Cradle-to-grave* (do berço ao túmulo), que inclui a totalidade do processo de ciclo de vida de um produto, ou seja, todas as fases do ciclo de vida desde a sua extração da matéria-prima até à sua deposição;

- *Cradle-to-gate* (do berço à porta), que aborda parte do ciclo de vida do produto, desta vez desde a extração da matéria-prima, sua produção e até à sua entrega ao consumidor final;
- *Cradle-to-Cradle* (do berço ao berço), a variante que engloba, tal como o *Cradle-to-grave*, a totalidade do processo de ciclo de vida do produto desde a sua extração até deposição. No entanto, o seu final corresponde à reciclagem do produto para iniciar novamente a fase de produção do ciclo de vida do mesmo.

Na Figura 2.4 é possível observar a abrangência de cada uma destas variantes e as diferentes fases de ciclo de vida de um produto: Extração e obtenção de matérias-primas, sua produção, fabrico e transporte, a utilização, o tratamento e deposição final. O produto após a sua utilização pode ser reciclado ou reaproveitado para nova utilização, sendo o caso ótimo a possibilidade de reciclar/reaproveitar uma elevada percentagem do mesmo.

Para realizar uma análise de ciclo de vida, a etapa zero pode ser considerada a de identificar as categorias de impacto ambiental a estudar. Em 2005, o Centro Europeu de Normalização (CEN) através do seu Comité Técnico 350 (CEN/TC350) procurou clarificar as categorias de

impacte ambiental a ter em consideração para o caso específico da construção dada a vasta lista de impactes. Esta ação teria como objetivo facilitar a interpretação de resultados entre diferentes métodos de avaliação da sustentabilidade de construções desenvolvidas nos países

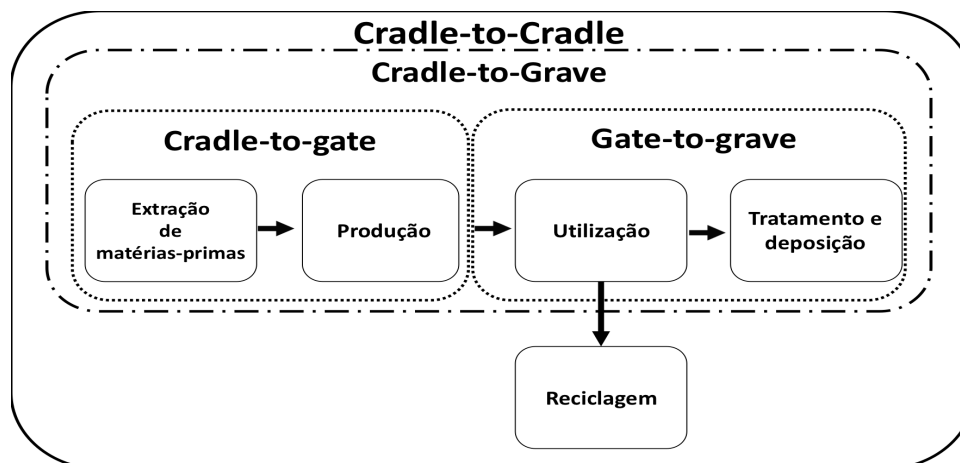


Figura 2.3- Fases do ciclo de vida enquadradas com as respetivas variantes de análise ACV (Mateus, 2009)

européus. Assim, as categorias de impacto ambiental a considerar para o setor da construção são as apresentadas na Tabela 2.3 (Pereira, 2013).

Tabela 2.3 - Categorias de impacto ambiental para a ACV segundo o CEN/TC350 para a construção

Impactes ambientais expressos em categorias de ACV:	Impactes ambientais com base nos dados de inventário de ciclo de vida (ICV) mas não expressos em categorias de ACV:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquecimento global (GWP);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de energia primária renovável (ER);</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esgotamento de recursos abióticos (ADP);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de energia primária não renovável (ENR);</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eutrofização (EP);</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição da camada de ozono estratosférico (ODP);</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidificação dos solos e água (AP);</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de ozono troposférico (POCP);</li> </ul>	

### 2.2.3 Fases da ACV

As normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, e como se pode observar pela Figura 2.5, preconizam a implementação da análise de ciclo de vida em quatro fases distintas, sendo elas:

- Definição de objetivo e âmbito
- Inventário de ciclo de vida
- Avaliação dos impactes de ciclo de vida
- Interpretação dos resultados

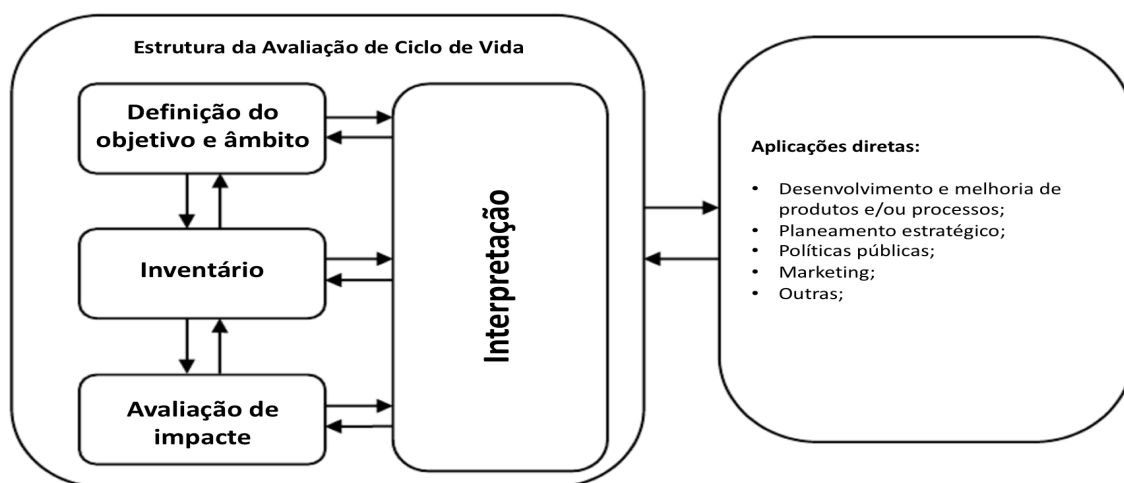


Figura 2.4- Fases de implementação da ACV (adaptado ISO/FDIS 14040: 2006)

As próximas secções detalham cada uma destas fases em particular.

#### a) Objetivo e âmbito

Esta primeira fase da análise de ciclo de vida formula e especifica, tal como o nome indica, os objetivos do estudo em questão de acordo com a aplicação que se pretende. Esta é uma etapa de extrema importância uma vez que todas as fases seguintes dependerão dos pressupostos definidos nesta fase (Pre Consultants, 2010). A norma ISO 14040:2006 define ainda que “o objetivo de estudo de uma avaliação de ciclo de vida é o de expor de forma não ambígua a aplicação planeada, as razões para levar a cabo o estudo e a audiência pretendida, ou seja, a quem serão comunicados os resultados”. O objetivo de uma ACV deverá então incluir (Campos, 2012):

- Aplicação desejada - As mais comuns, apesar das aplicações poderem ser diversas, são o desenvolvimento, melhoria na escolha de produtos ou processos e ainda sua comparação, o *design* dos mesmos, o planeamento estratégico, estudos ambientais e *marketing*;
- Razões do estudo - Descrição da motivação e interesse do estudo. As principais razões prendem-se com a avaliação ambiental do produto com o intuito de perceber que materiais e qual a fase do ciclo de vida que mais impactes ambientais gera ou vice-versa;
- Público-alvo - O público pode também ser variado sendo os mais comuns as indústrias e empresas, o governo ou agregações científicas e, claro, os consumidores.

Deve-se ainda ter em conta as condições fronteira, as categorias de impacto em conta bem como as metodologias utilizadas para a avaliação das mesmas e a unidade funcional que será avaliada sendo que o estudo é descrito sob a forma dessa mesma unidade funcional (Bragança e Mateus, 2011).

### **b) Inventário de Ciclo de Vida (ICV)**

A fase de inventário de ciclo de vida de uma análise engloba a recolha de dados, sua descrição e verificação bem como toda a modelação do sistema do produto ou processo. Identificam-se *inputs* e *outputs* que quantificam, primeiramente como *inputs*, os materiais e a energia a serem utilizados e, numa fase posterior e como *output*, a consequência associada aos *inputs* já referidos, ou seja, emissões atmosféricas, emissões para a água e resíduos sólidos (Bragança e Mateus, 2011).

Esta é uma fase bastante morosa na medida em que implica a recolha dos dados associados a cada sistema e produto. No entanto, atualmente a maior parte dos dados a utilizar para uma análise ACV encontra-se já disponível em bases de dados desenvolvidas por várias instituições na Europa e nos EUA (Pré-consultants, 2010a).

Atualmente a base de dados *Ecoinvent* é uma das fontes mais consultadas e aceites na comunidade LCA. Esta base de dados surgiu na Suíça por intermédio do *Ecoinvent Centre*

(ou *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*) e através da fusão de vários dados existentes. Esta é uma base de dados que surgiu em 2003 sendo a última versão disponível a v3.3 de Agosto de 2016. Esta recente versão acumula 8000 processos industriais abordando o fornecimento de energia e materiais, extração de recursos, produtos químicos, serviços de transportes e agricultura, a mais recente atualizada (*website* oficial EcoInvent - [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)).

### **c) Avaliação dos impactes de ciclo de vida (AICV)**

A avaliação dos impactes de ciclo de vida tem como objetivo analisar, compreender e avaliar a contribuição e magnitude dos impactes ambientais potenciais de um sistema. Este é um processo quantitativo e/ou qualitativo que tem como base o inventário de ciclo de vida anteriormente realizado (SETAC, 1991, Consoli et al., 1993).

De acordo com a ISO 14044:2006, a AICV é subdividida em elementos obrigatórios e opcionais da seguinte forma:

- Elementos obrigatórios:
  - Classificação;
  - Caracterização;
- Elementos Opcionais:
  - Normalização;
  - Agregação;

Os elementos obrigatórios utilizam os dados do ICV convertendo os mesmos em resultado para as diferentes categorias de impacto enquanto que os elementos opcionais normalizam os resultados ou atribuem pesos às diferentes categorias de impacto consoante a sua importância relativa, sendo assim uma análise mais subjetiva comparativamente aos elementos obrigatórios (Ferreira, 2004). Descrevem-se de seguida cada um destes elementos.

#### **● Classificação**

Na etapa de classificação, os dados da fase ICV são distribuídos e agrupados nas diversas categorias de impacto ambiental relevantes para o estudo em questão devendo também ser

feita esta seleção (CML, 2001). Por exemplo, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o tetrafluoreto de carbono ( $\text{CF}_4$ ) que contribuem para o Aquecimento Global, sendo por isso incluídos nesta categoria de impacto ambiental. De referir ainda que diversas substâncias/poluentes que contribuem significativamente para mais que uma categoria de impacto ambiental sendo igualmente alocadas nas várias que influenciam. Exemplo: dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) - impacto ao nível da saúde humana e acidificação (Campos, 2012).

- **Caracterização**

Após definir as categorias de impacto e alocar os resultados do ICV a cada uma dessas categorias, a fase de caracterização estuda a contribuição relativa de cada um desses resultados conhecidos como fatores de caracterização ou também potenciais. Como já mencionado, diferentes emissões podem contribuir para a mesma categoria de impacto ambiental, no entanto, as suas contribuições variam. É assim necessário definir, para cada categoria de impacto ambiental, os fatores de caracterização de cada emissão (Pré Consultants, 2010a). Na Figura 2.6 é possível observar, além da classificação de cada substância, a caracterização de um estudo ACV.

Como se pode observar do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), por exemplo, a classificação desta substância estende-se a três impactes ambientais - oxidação fotoquímica (POCP), toxicidade humana (HCA) e acidificação (AP). Já o fator de caracterização ou potencial associado ao impacto ambiental de cada categoria de impacto varia consoante a substância em causa. Verifique-se, por exemplo, o óxido de nitrogénio ( $\text{NO}_x$ ), cujo fator potencial é de 0,028 em termos de oxidação fotoquímica (POCP) e 1,2 em termos de toxicidade humana (HCA).



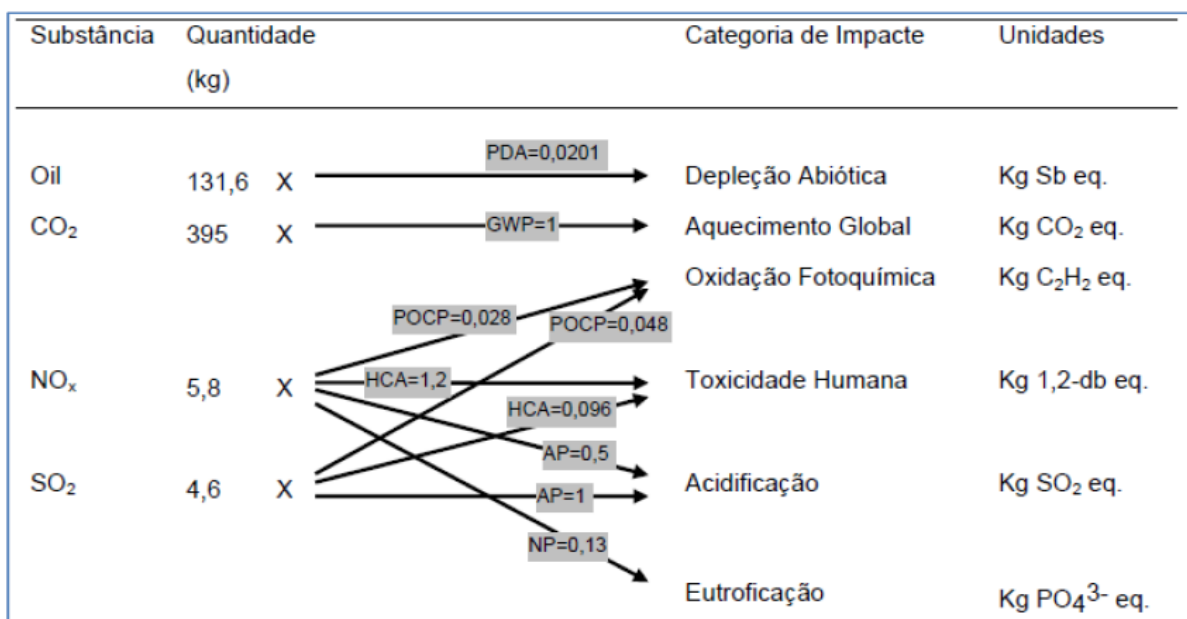


Figura 2.5 - Exemplo de classificação e caracterização de um estudo ACV (Ferreira, 2004)

Esta agregação permite ainda que os dados estejam na mesma unidade de medida o que possibilita o cálculo de um único índice. Usando mais uma vez como exemplo a Figura 2.6 e o impacte ambiental acidificação (AP), o seu cálculo seria feito através da soma das contribuições de cada emissão, tal como se pode observar na equação 2.1:

$$AP = \sum_{i=1}^n m_i \times AP_i \quad 2.1]$$

$$AP = (5,80 \times 5) + (4,6 \times 1) = 7,5 \text{ kg SO}_2 \text{ eq}$$

Conclui-se assim que o potencial de acidificação tem o valor de 7,5 quilogramas de dióxido de enxofre equivalente (kg SO<sub>2</sub> eq), em que m<sub>i</sub> representa a massa obtida na fase de inventário para a emissão i e AP<sub>i</sub> o fator de caracterização do potencial de acidificação associado à emissão i (Bragança e Mateus, 2011).

### • Normalização

A etapa de normalização é uma etapa opcional que pode ser abordada, havendo interesse em comparar as várias categorias de impacte ambiental, uma vez que as mesmas são convertidas para a mesma unidade, permitindo analisar a contribuição de cada categoria de impacte

ambiental para o problema ambiental em questão. Para tal, os vários indicadores são divididos por um valor de referência. A normalização revela-se assim uma etapa útil para (ISO 14044:2010): (1) levantamento de inconsistências, (2) comunicação de informações relativamente à significância do indicador para o estudo, (3) preparação para procedimentos adicionais necessários, agregação, ponderação e a fase seguinte da ACV de interpretação dos resultados.

Através da normalização é possível ainda deixar de lado indicadores que contribuem relativamente muito pouco, reduzindo ao número de dados a serem analisados, e ainda aproximar mais da realidade os resultados (Pré-Consultants, 2010).

- **Agregação**

A etapa de agregação, também uma etapa opcional, pode compreender dois procedimentos. O primeiro seria o de separação das categorias de impacte ambiental consoante uma base nominal, por exemplo, as suas características (emissões, recursos) ou escala espacial (global, regional e/ou local). O segundo procedimento consiste no ordenar das categorias segundo uma hierarquia e que implica a atribuição de peso a cada categoria de impacte ambiental em função da sua importância relativa (Ferreira, 2004).

Os impactes ambientais de ciclo de vida podem ainda ser agregados através de dois métodos (Goedkoop e Spriensma, 2000) sendo eles: (1) os métodos intermédios (*Midpoints*) e os métodos finais (*Endpoints*). Os métodos intermédios refletem o mecanismo ambiental ligando diretamente os resultados do ICV para categorias de impacto intermédias, ou seja, alterações climáticas, acidificação, níveis de radiação ou *smog*, por exemplo. Já os métodos finais são modelos de danos uma vez que refletem as consequências associadas às supramencionadas categorias intermédias. Exemplos destas consequências são a extinção de espécies, saúde humana e a depleção de recursos.

Como exemplos de métodos intermédios temos o CML Baseline 2000, o Cumulative Energy Demand (ambos serão utilizados posteriormente nesta dissertação), o TRACI e o IMPACT 2002, o LIME, entre muitos outros. Como métodos finais existem o Eco-indicator 99, o EDIP2003 e o EPS 2000 (Bragança e Mateus, 2011)

#### **d) Interpretação dos resultados**

A última fase da ACV de interpretação dos resultados obtidos é, em muitos casos, a mais importante. Nesta fase são analisados os processos e materiais que mais influenciam ao nível das várias categorias de impacto ambiental, análise de gravidade, e realizam-se ainda análises de sensibilidade e incerteza (Bragança e Mateus, 2011). Além disso, é necessário avaliar a consistência dos resultados de acordo com os objetivos/metastas e âmbito do estudo inicialmente delineado. Através destas análises é possível identificar, qualificar, verificar e analisar os resultados, tirar conclusões, explicar limitações e sugerir novas abordagens e/ou alterações.

- Análise de gravidade - Procedimento para identificação dos processos e materiais com maior contribuição para os impactos do produto em questão;
- Análise de incerteza - As incertezas dos dados são expressas em intervalos ou desvios padrão uma vez que é impossível adotar um modelo totalmente fiel à realidade. Alguns fatores que influenciam significativamente as incertezas são a unidade funcional considerada, a vida útil adotada, processos de alocação, entre outros;
- Análise de sensibilidade - Medição das alterações registadas através da alteração de pressupostos e recalculando a ACV. Permite uma melhor percepção do efeito das várias considerações adotadas ao longo da análise de ciclo de vida;

#### **2.2.4 Benefícios e limitações da abordagem ACV**

A ACV, e tal como já se foi possível ir constatando ao longo desta revisão de literatura da mesma, apresenta várias vantagens inerentes à sua estrutura e metodologia. É uma análise que, combinada com uma análise de custos, e desempenho das soluções, permite apoiar em tomadas de decisão por parte dos principais agentes e responsáveis pela ação a desenrolar. Além disso, a sua abordagem, tal como o nome indica, é transversal às várias fases do ciclo de vida de um material ou produto e possibilita uma visão mais detalhada do efeito e impacto de cada opção. Desta forma, a solução que à partida seria a melhor para um caso (porque por exemplo necessita de menos matérias-primas aquando do seu fabrico) pode-se vir a revelar ainda assim mais impactante devido aos seus efeitos durante a fase de utilização ou manutenção. Estes são factos importantíssimos e facilmente detetados graças a esta abordagem ACV (Ferreira, 2004).

Listam-se ainda uma série de possibilidades à disposição dos vários interessados decorrentes da elaboração de um estudo ACV (USEPA, 2001):

- Identificação de impactes em áreas ambientais de interesse;
- Avaliação sistemática dos efeitos ambientais associados a um dado produto/processo;
- Quantificação de descargas ambientais e quais as mais significativas;
- Comparação de dois ou mais produtos em termos de impactes ecológicos e na saúde dos utilizadores;
- Análise de balanço ambiental em termos de ganhos e perdas associados a produtos e processos para aceitação da comunidade visada;

No entanto, a complexidade de aplicação da análise de ciclo de vida traz algumas limitações a esta abordagem. Estes são estudos que implicam bastante tempo e recursos e cujos dados poderão ser de difícil coleta e análise. É também de relevante menção que, nem sempre é clara a ligação entre os fatores de entrada e de saída de um sistema, ou seja, é possível estimar e calcular os impactes associados a um produto ou processo, mas a relação causa e efeito não é direta e muitas vezes perceptível (Tibor e Feldman, 1996).

Além disso, algumas etapas da ACV envolvem tomadas de decisão e suposições que aumentam o grau de subjetividade da análise influenciando a qualidade e exatidão dos dados e posteriormente dos resultados (Costa, 2007).

### **2.3 ACV NO SETOR DA CONSTRUÇÃO**

A avaliação do ciclo de vida dos edifícios é uma prática que tem vindo a aumentar substancialmente e este é de facto um fator positivo atendendo ao impacto que os edifícios têm em termos de impactes ambientais. Como é possível observar na Figura 2.7, a consciencialização para a adoção de práticas de construção mais sustentáveis aumentou notoriamente desde 2000 e a pesquisa que se desenvolve em paralelo apoia esse aumento principalmente no fornecimento de mais informação e maior detalhe, bem como as ferramentas que igualmente se têm vindo a desenvolver.

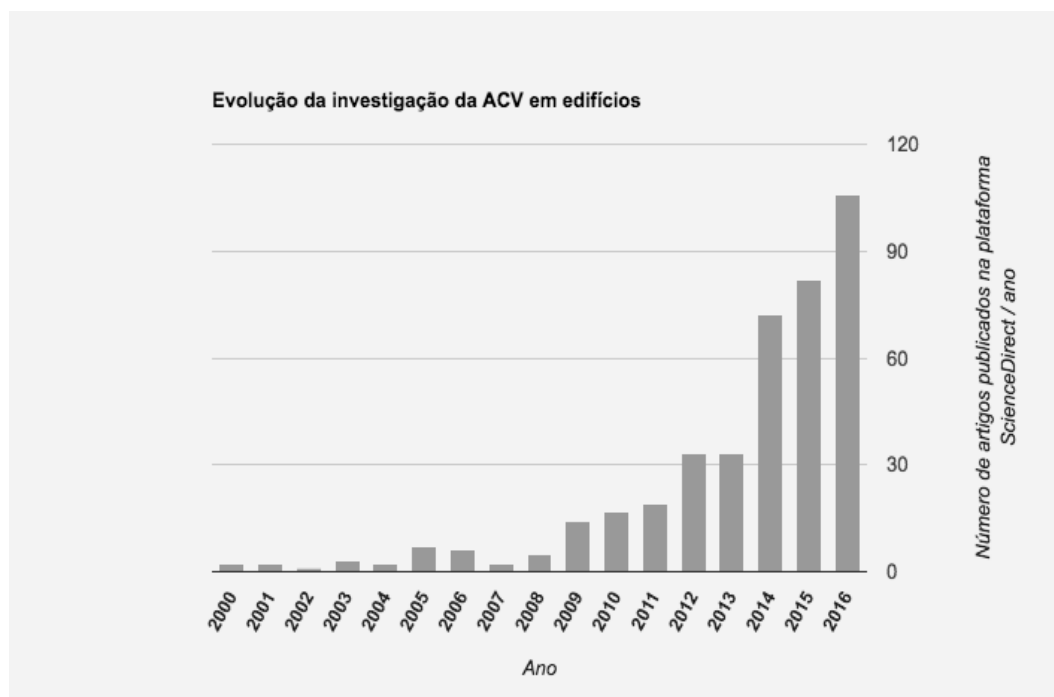


Figura 2.6 - Artigos publicados na plataforma ScienceDirect com as palavras-chave ‘LCA’, ‘buildings’ e ‘life cycle assessment’ na categoria ‘Abstract, Title, Keywords’ por ano (ScienceDirect, 2017)

A metodologia de análise de ciclo de vida é, de facto, uma abordagem bastante detalhada da dimensão ambiental avaliando um leque de soluções ao nível das categorias de impacto ambiental e respetivas contribuições para os mesmos, nas várias fases do ciclo de vida da construção. Convém referir, no entanto, que esta é apenas uma das dimensões do já mencionado desenvolvimento sustentável. Atualmente já existem algumas abordagens que incluem a análise do desempenho económico e funcional (Bragança e Mateus, 2011).

Os indicadores de sustentabilidade de edifícios ao nível social preconizados pela ISO/TC 21929-1 de 2006 são o conforto e saúde dos utilizadores, as acessibilidades, qualidade dos edifícios e a proteção do património cultural, enquanto que ao nível económico são tidos em conta fatores como o investimento, a utilização do edifício em termos de consumos e tratamento de resíduos e a valorização do edifício bem como as receitas geradas do mesmo.

Sintetizando, as metas e etapas integrantes duma análise de ciclo de vida:

- Descrição do ciclo de vida da construção;
- Definição do âmbito e objetivos da construção;
- Decomposição do edifício em soluções construtivas e seus materiais;

- Para cada solução construtiva é feita a análise do ciclo de vida tendo em conta a variante a adotar e as três componentes - ambiental, social e económica. A análise económica é transversal a todas as fases do ciclo de vida definidas no ponto 1) e a análise social e funcional durante a fase de operacional de utilização;
- Somatório das contribuições de todas as soluções construtivas para obtenção dos resultados da ACV para a totalidade do edifício;

## **2.4 BASES DE DADOS E FERRAMENTAS ACV**

Ao longo dos anos, paralelamente ao crescente interesse e investigação de novos e melhores métodos de redução dos impactes ambientais da atividade humana, têm vindo a surgir ferramentas de ACV e bases de dados que centralizam num só local as informações de materiais e processos numa tentativa de promover um desenvolvimento sustentável. No entanto, e tal como mostra a Tabela 2.4, há ainda muitos obstáculos não contemplados nestas ferramentas e que de alguma forma impedem um total aproveitamento das mesmas.

Assim, os parâmetros analisados na Tabela 2.4 foram: (1) a necessidade de formação especializada, que limita à partida o uso destas ferramentas pelos agentes envolvidos no processo, (2) a necessidade de montagem que se revelou como um processo moroso e consumidor de tempo e que excluía o uso destas ferramentas no decorrer do ciclo de vida das construções, (3) avaliação económica e (4) avaliação térmica que poderão ser vistos como extras das ferramentas ACV mas que na verdade apoiam muito a tomada de decisão uma vez que a mesma deve ter em conta os vários pilares do desenvolvimento sustentável.

Tabela 2.4- Análise de ferramentas ACV existentes. Cor verde denota avaliação positiva e cor vermelha negativa. (Annex 31 Directory of Tools, 2004)

Ferramentas ACV	Necessidade Formação Especializada	Avaliação económica	Avaliação térmica	Montagem Necessária
LISA	Não	Sim	Não	Sim
LCA-HOUSE	Não	Não	Não	Sim
TAKE-LCA	Sim	Não	Não	Não
TEAM	Não	Sim	Não	Sim
ESCALE	Sim	Não	Não	Sim
Papoose	Sim	Não	Sim	Sim
EQUER	Sim	Não	Sim	Sim
REGENERS	Não	Não	Sim	Sim
EcoPro	Sim	Não	Não	Sim
LEGOE	Sim	Não	Não	Sim
BRI LCA	Não	Não	Sim	Sim
EcoQuantum	Sim	Não	Sim	Sim
Eco-Install	Sim	Não	Não	Sim
EcoEffect	Sim	Sim	Sim	Sim
LCAiT	Sim	Não	Sim	Sim
OGIP	Sim	Sim	Sim	Sim
MMG	Sim	Não	Não	Sim
Eco-LCA	Não	Não	Não	Sim
SimaPro	Não	Não	Não	Sim

Assim a avaliação térmica teria essencialmente como objetivo avaliar o conforto do edificado e a componente económica o objetivo de averiguar o custo associado a certa tomada de decisão, custo considerado igualmente sobre uma perspetiva integrada nos vários ciclos de vida da construção, ou seja, uma análise de custos de ciclo de vida. Apesar disso, e se não

fosse tomado em consideração de facto a avaliação térmica e a avaliação económica, nenhuma das ferramentas estudadas possui ao mesmo tempo avaliação positiva no primeiro chavão (Necessidade de Formação Especializada) e no último chavão (Montagem Necessária), ou seja, que **não** necessite de formação especializada e que **não** necessite de montagem. É assim perceptível que há uma grande falha por colmatar nestas ferramentas no sentido do seu uso ser fácil, cómodo e célere. De referir ainda que, das ferramentas analisadas, apenas duas possuem página de internet, o que torna a ferramenta pouco acessível e pouco inclusiva.

Desta feita, surge a pertinência de desenvolver um *software* próprio que aglomere a base de dados desenvolvida nesta dissertação e ainda ultrapasse os obstáculos supracitados. A ferramenta, apelidada de **LCA PTool**, não requer formação especializada nem requer montagem das soluções construtivas, ou seja, é possível o utilizador consultar e comparar as soluções construtivas de paredes exteriores já presentes na ferramenta (possuindo no entanto a opção de criar uma nova solução construtiva). Além disso, a ferramenta fornece ainda uma avaliação económica e térmica das soluções construtivas, indo ao encontro de uma avaliação totalmente positiva visível na Tabela 2.4.

Esta nova ferramenta informática revela-se assim como uma mais valia adaptada às necessidades da atualidade, no sentido de promover a construção sustentável e consequentemente o desenvolvimento sustentável. Essa mais valia é demonstrada ao ter em conta as barreiras à implementação de uma construção e ainda as lacunas por colmatar das atuais ferramentas de apoio que por si só são também barreiras e um impedimento à construção sustentável tão desejada.

Os seguintes capítulos, e no seguimento desta revisão de literatura, apresentam as metodologias e processos adotados para o desenvolvimento da base de dados de impactes ambientais de ciclo de vida de soluções construtivas, com foco nas paredes exteriores, e a posterior agregação numa ambiciosa ferramenta informática, LCA PTool juntamente com uma avaliação térmica e económica.



### **3 METODOLOGIA ADOTADA PARA DESENVOLVIMENTO DA BASE DE DADOS**

O desenvolvimento da base de dados enunciada envolveu, desde a sua conceção teórica e prática até à sua agregação numa ferramenta de utilização digital, um vasto leque de quantificações, cálculos, consulta e considerações. Assim, no decorrer deste terceiro capítulo, a metodologia adotada para a concretização das tarefas desta dissertação será explicada detalhadamente, sendo elas: (1) o desenvolvimento de uma base de dados de impactes ambientais de soluções construtivas e materiais de construção; bem como (2) o desenvolvimento de uma ferramenta informática associada à mesma base de dados.

A base de dados de impactes ambientais de ciclo de vida de soluções construtivas e materiais de construção desenvolvida teve em consideração 28 soluções construtivas de paredes exteriores, o elemento construtivo em foco nesta dissertação, e um total de 47 materiais de construção convencionalmente utilizados para montagem de novas soluções. Estes materiais e soluções construtivas tiveram como base o livro “*Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios - Impacte Ambiental de Soluções Construtivas*” (Bragança e Mateus, 2011).

A publicação em causa teve como objetivo estabelecer bases para uma aplicação mais efetiva e abrangente do método ACV no setor da construção, nomeadamente ao nível dos edifícios, e reuniu uma base de dados com soluções construtivas de paredes interiores, paredes exteriores, coberturas e pavimentos, tendo sido atualizadas as 28 soluções construtivas de paredes exteriores inseridas nesta publicação ao nível dos seus impactes ambientais bem como os 47 materiais de construção. Estes materiais de construção foram submetidos a uma atualização dos seus impactes ambientais de ciclo de vida (previamente avaliados pela referida publicação em 2011) e de seguida agregados em soluções construtivas de paredes exteriores, fornecendo ainda a possibilidade de avaliar as mesmas ao nível da sua eficiência térmica e económica. No anexo I desta dissertação é possível observar os 47 materiais de construção analisados.

Relativamente ao impacte ambiental, a base de dados desenvolvida contempla os impactes ambientais incorporados de uma solução construtiva ao nível dos materiais utilizados e ainda ao nível do meio utilizado para transporte dos mesmos materiais até ao local de construção,

fazendo desta uma análise cradle-to-gate com o acréscimo do transporte desde o local de produção até ao local de construção.

Os transportes escolhidos tiveram como critério de seleção a frequência do seu uso, ou seja, teve-se em consideração os meios de transporte mais comuns para construções em território nacional. As hipóteses de escolha de transporte são então o comboio de carga, veículos ligeiros comerciais de carga e camiões de carga (entre 3,5 a 7,5 toneladas, entre 7,5 e 16 toneladas, entre 16 e 32 toneladas, superior a 32 toneladas ou sem especificação). Foi ainda tomado em consideração o transporte por via marítima e por via aérea. A distância a percorrer é definida pelo utilizador. No anexo I deste trabalho é possível observar igualmente Tabela dos transportes considerados.

A unidade declarada adotada para cálculo do impacte ambiental das soluções construtivas corresponde a  $1\text{m}^2$  (um metro quadrado). Assim, para cada material o seu peso é quantificado por metro quadrado, ou seja, quilogramas por metro quadrado ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Relativamente ao impacte ambiental resultante do transporte dos materiais das soluções construtivas, a sua quantificação é feita em função do peso e distância percorrida, ou seja, em quilograma-quilómetro ( $1\text{kg.km}$ ).

Como referido anteriormente, além da componente dos impactes ambientais, a base de dados apresenta ainda uma referência ao desempenho térmico das soluções construtivas, ao nível do valor do Coeficiente de Transmissão Térmica U, e económica, ao nível dos seus Custo de Ciclo de Vida (CCV).

Em suma, e como introdução para o desenrolar do presente capítulo, a base de dados em estudo pressupõe em termos metodológicos da:

- Quantificação dos impactes ambientais, dos materiais e transportes considerados, ao nível das categorias de impacte ambiental preconizadas;
- Quantificação das quantidades de material dos materiais de construção das soluções construtivas de paredes exteriores;
- Quantificação do Coeficiente de Transmissão Térmica (U) e processo de contabilização dos Custos de Ciclo de Vida (CCV);

### 3.1 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS

A quantificação dos Impactes Ambientais consistiu essencialmente num trabalho de consulta dos impactes ambientais associados a cada material definido para análise e ainda os impactes associados aos meios de transporte definidos. Para tal, foi consultada a biblioteca ICV *Ecoinvent* inserida na ferramenta informática *SimaPro* na sua versão mais recente, versão 8. Este é um *software* que integra bases de dados ICV internacionais e vários métodos ACV que fornecem os potenciais impactes ambientais com base nesses mesmos inventários atendendo ao fluxo de materiais ou processos (Pré-consultants, 2010).

A variante de ACV adotada para a elaboração desta dissertação foi a *Cradle-to-gate*, ou seja, tendo em consideração o ciclo de vida dos materiais desde a sua extração, passando pelo transporte até ao local de produção e incluindo ainda a sua produção. Normalmente esta análise não inclui o transporte para o consumidor final, mas para este trabalho foi feita também essa análise de impactes ambientais sendo assim avaliados os impactes ambientais de ciclo de vida dos materiais desde a sua extração até à sua entrega ao consumidor final.

Ao nível das categorias de impacto ambiental consideradas, como já foi referido na Tabela 2.3 teve-se em conta as que mais usualmente estão associadas ao setor da construção. Os métodos utilizados para a quantificação dos impactes ambientais foram o *CML Baseline 2000* para o potencial de aquecimento global (GWP), o esgotamento de recursos abióticos (ADP), a eutrofização (EP), a diminuição da camada de ozono estratosférico (ODP), a acidificação dos solos e água (AP) e a formação de ozono troposférico (POCP) e o *Cumulative Energy Demand* para a utilização de energia primária renovável (ER) e não renovável (ENR). Na Tabela 3.1 é possível observar as categorias de impacto ambiental mencionadas associadas ao respetivo método utilizado e ainda as suas unidades.

O potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP) tem como objetivo avaliar o decréscimo de recursos naturais disponíveis à escala global. A categoria GWP avalia a emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera e a capacidade de remoção dos mesmos da atmosfera a uma escala igualmente global. O potencial de destruição da camada de ozono (ODP) reflete exatamente o que o nome indica, a destruição da camada de ozono estratosférico que está intimamente relacionado com o aumento das radiações ultravioleta.

Tabela 3.1 - Categorias de impacto ambiental, respetivos métodos ACV e unidades consideradas para quantificação da base de dados.

Tipos de impactes ambientais	Categorias de impacto ambiental e acrónimos	Método ACV para quantificação	Unidade
<b>Expressos nas categorias de impacto ambiental da metodologia ACV</b>	Alterações climáticas - GWP	CML Baseline 2000	kg CO <sub>2</sub> eq
	Potencial de Acidificação - AP		kg SO <sub>2</sub> eq
	Potencial de formação de ozono troposférico - POCP		kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
	Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos - ADP		kg SB eq
	Potencial de destruição da camada de ozono - ODP		kg CFC-11 eq
	Potencial de Eutrofização - EP		kg PO <sub>4</sub> eq
<b>Expressos com base nos dados de ICV, mas não na metodologia ACV</b>	Energia Renovável incorporada - ER	Cumulative Energy Demand	MJ eq
	Energia Não Renovável incorporada - ENR		MJ eq

O potencial de acidificação (AP) consiste na conversão de emissões, essencialmente de amónio, dióxido de enxofre e óxidos de azoto, em substâncias ácidas podendo originar, a título de exemplo, chuva ácida. A categoria POCP, oxidação fotoquímica, consiste na formação de compostos químicos reativos criando o “*smog* de Verão” por ação dos raios ultravioleta. O principal composto é o ozono, sendo atualmente o ozono troposférico um dos principais e mais preocupantes poluentes do continente Europeu. A eutrofização (EP) ou nitrificação tem em consideração os impactes associados à emissão de nutrientes para o meio ambiente.

Por fim, as categorias não expressas na metodologia de ACV, mas ainda baseados em dados de ICV, a energia renovável e não renovável incorporada. A primeira não representa um impacto ambiental negativo, mas sim o grau de utilização de energias renováveis nas soluções adotadas. Já a ENR representa, de facto, impactos ambientais associados ao consumo de recursos energéticos não-renováveis, contribuindo para o seu esgotamento (Bragança & Mateus, 2011).

O uso da ferramenta informática *SimaPro* foi algo que se revelou moroso, tanto ao nível da aprendizagem como também pelo processamento de dados, dada a quantidade de materiais em análise, 47 materiais, somados dos 9 meios de transporte, cada um com 8 categorias de impacto ambiental a avaliar separadamente com dois métodos de cálculo. O processo de consulta e recolha de dados é sucintamente apresentado de seguida.

Inicialmente é feita a introdução dos materiais de construção na ferramenta informática *SimaPro* (Figura 3.1). após localizar o material em questão no inventário extenso que a ferramenta possui. Os materiais foram inseridos todos na mesma montagem uma vez que a ferramenta *SimaPro*, aquando da utilização de um método, faz a análise separadamente por material inserido.

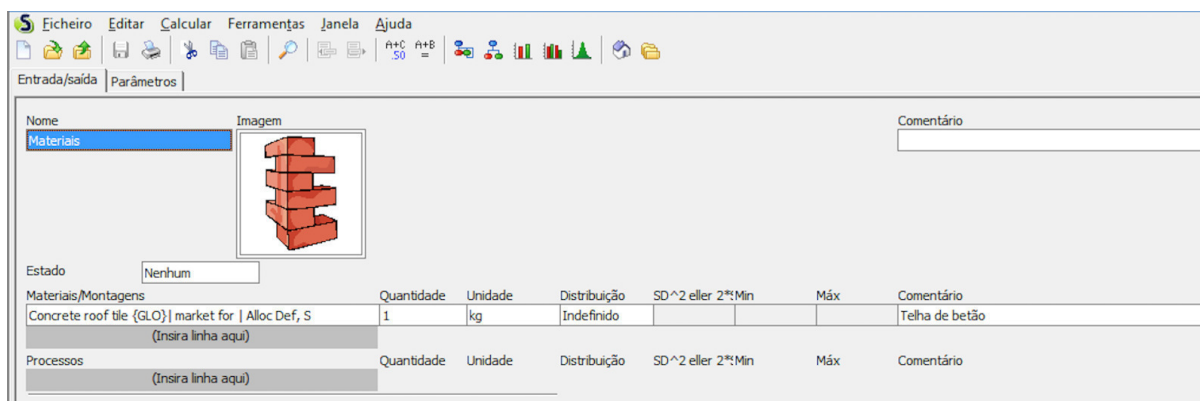


Figura 3.1 – Introdução dos materiais de construção na ferramenta SimaPro

De seguida, após a inserção de todos os materiais em estudo, são utilizados os métodos supracitados *CML Baseline 2000* e *Cumulative Energy Demand* para obter os impactos ambientais para as categorias definidas. Na Figura 3.2 é possível observar este processo de submissão dos dados aos métodos preconizados e nas Figuras 3.3 e 3.4 os dados obtidos para recolha e integração na base de dados.

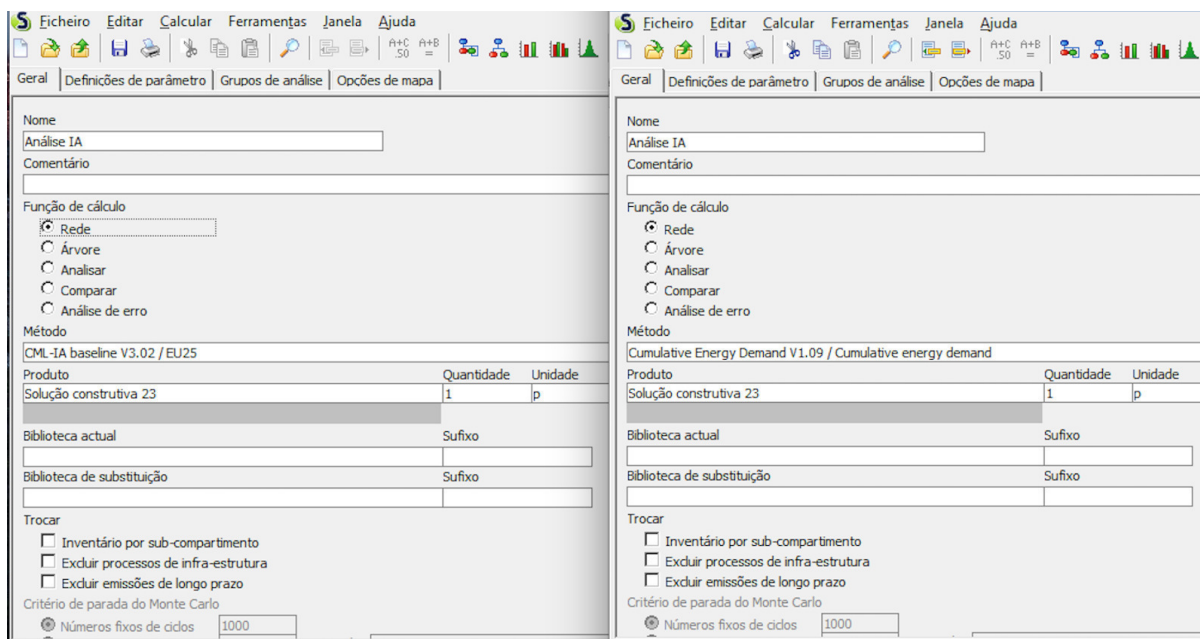


Figura 3.2 – Submissão dos materiais de construção aos métodos definidos CML Baseline 2000 e Cumulative Energy Demand

O processo repete-se para a obtenção dos impactes ambientais dos transportes ao nível das oito categorias e usando os dois métodos mencionados. Posteriormente, os dados obtidos foram agregados para montar a base de dados de impactes ambientais de ciclo de vida de materiais de construção e de seguida as soluções construtivas de paredes exteriores foram montadas com os respetivos materiais. De seguida apresenta-se então a metodologia associada à quantificação dos materiais.

Sel	Categoria de impacte	Unidade	Totalt	Natural stone plate, cut {GLO}	Steel, low-alloyed {GLO}   market for	Polystyrene, extruded {GLO}	Brick {GLO}   market for   Alloc	Cement mortar {GLO}   market for
<input checked="" type="checkbox"/>	Abiotic depletion	kg Sb eq	3,01E-5	1,93E-7	2,45E-5	4,77E-6	4,35E-7	2,03E-7
<input type="checkbox"/>	Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	125	6,63	17,2	95,7	3,5	1,99
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming (GWP 100a)	kg CO2 eq	14,5	0,534	1,84	11,5	0,314	0,309
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,000182	4,8E-8	9,81E-8	0,000182	2,79E-8	1,58E-8
<input type="checkbox"/>	Human toxicity	kg 1,4-DB eq	8,38	0,159	7,17	0,911	0,0976	0,0488
<input type="checkbox"/>	Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	3,34	0,133	2,57	0,574	0,0374	0,0316
<input type="checkbox"/>	Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8,01E3	562	4,51E3	2,29E3	536	110
<input type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,0397	0,000856	0,0346	0,00363	0,000258	0,000412
<input checked="" type="checkbox"/>	Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,0026	0,000138	0,000921	0,00143	7E-5	4,42E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	kg SO2 eq	0,0346	0,00369	0,00901	0,0197	0,00118	0,00102
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg PO4--- eq	0,0112	0,00115	0,0056	0,00386	0,000296	0,000297

Figura 3.3 – Resultados da análise CML Baseline 2000

Sel	Categoria de impacte	Unidade	Totalt	Natural stone plate, cut {GLO}	Steel, low-alloyed {GLO}   market for	Polystyrene, extruded {GLO}	Brick {GLO}   market for   Alloc	Cement mortar {GLO}   market for
<input checked="" type="checkbox"/>	Non renewable, fossil	MJ	125	6,63	17,2	95,7	3,5	1,99
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable, nuclear	MJ	8,73	1,13	1,18	6,15	0,145	0,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable, biomass	MJ	0,00153	0,000187	0,000389	0,000725	9,93E-5	0,000129
<input checked="" type="checkbox"/>	Renewable, biomass	MJ	1,41	0,138	0,4	0,58	0,112	0,177
<input checked="" type="checkbox"/>	Renewable, wind, solar, geoth	MJ	0,351	0,0779	0,0809	0,174	0,00872	0,00878
<input checked="" type="checkbox"/>	Renewable, water	MJ	2,76	0,378	1,22	1,06	0,0455	0,059

Figura 3.4 – Resultados da análise Cumulative Energy Demand

### 3.2 QUANTIFICAÇÃO DAS QUANTIDADES DE MATERIAL

A quantidade de material consiste no peso que cada material possui na unidade funcional definida de  $1\text{m}^2$  (um metro quadrado). Esta quantificação foi feita ao nível dos materiais inseridos nas soluções construtivas de paredes exteriores para a sua posterior inserção na base de dados desenvolvida juntamente com os restantes materiais de construção. Para proceder a esta quantificação, as soluções construtivas em estudo foram desconstruídas em três processos: (1) estruturas de suporte, (2) isolamentos e (3) revestimentos. Uma vez que já se possuem os impactes ambientais associados a um peso de um quilograma por metro quadrado, a simples multiplicação do impacte ambiental de cada categoria pelo peso que cada material tem por metro quadrado permite que se tenha a noção do impacte ambiental de cada material e, posteriormente, o impacte ambiental das soluções construtivas em análise. De seguida são apresentadas as metodologias de cálculo adotadas para esta quantificação ao nível dos três processos delineados. Como exemplo de cálculo optou-se por usar a solução construtiva de parede exterior referenciada pelo número 23: Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço de 22 cm de espessura, placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), como solução de isolamento, com 4 cm de espessura e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra com 3 cm de espessura, fixo em estrutura metálica.

#### 3.2.1 Estruturas de suporte

As estruturas de suporte em análise, inseridas nas soluções construtivas de paredes exteriores, correspondem essencialmente a panos de alvenaria de tijolo maciço ou furado, uma vez que se trata do mais usual ao nível da construção, havendo ainda de pedra, adobe, blocos de betão e betão armado. A solução construtiva tida em conta para o efeito de exemplo de cálculo possui um pano de alvenaria de tijolo maciço com 22 centímetros de espessura para o qual se irá quantificar o peso por metro quadrado da alvenaria e da respetiva argamassa de assentamento. Para a quantificação dos tijolos teve-se em consideração uma área efetiva do tijolo que corresponde às dimensões do tijolo somadas de metade da distância até ao tijolo seguinte.

$$\text{Área efetiva tijolo} = (0,11 + 0,05 + 0,05) \times (0,07 + 0,05 + 0,05) = 0,0096 \text{ m}^2$$

3.1

Considerou-se uma distância de 1 centímetro entre tijolos preenchida com a argamassa de assentamento. O tijolo maciço da solução construtiva em estudo possui as seguintes dimensões 11x7x22cm, um importante dado para os cálculos seguintes. A área efetiva dos tijolos deste elemento é dada pela equação 3.1

Conhecida a área efetiva é possível obter o número de tijolos por metro quadrado (Equação 3.2):

$$\text{Número de tijolos} / m^2 = \frac{1}{0,0096} \approx 104,1667 \quad 3.2$$

Multiplicando posteriormente o número de tijolos de cada metro quadrado pelo seu peso unitário obteve-se o peso dos tijolos num metro quadrado ( $m_{\text{tijolos}}$ ). O peso deste tijolo maciço em específico, por média de mercados, é de 3,5 kg. Assim:

$$m_{\text{tijolos}} = 3,5 \times 104,1667 = 364,58 \text{ kg} / m^2 \quad 3.3$$

Para o cálculo do peso da argamassa de assentamento foi utilizado o valor da densidade (obtido nas Tabelas do ITE50(Pina dos Santos e Matias, 2006) através da média entre os valores fornecidos por este documento) e os volumes de argamassa de assentamento por tijolo:

$$\rho_{\text{argamassa de assentamento}} = \frac{1800+2000}{2} = 1900 \text{ kg} / m^3 \quad 3.4$$

$$V_{\text{argamassa de assentamento/tijolo}} = (A_{\text{efetiva tijolo}} - A_{\text{tijolo}}) \times e_{\text{tijolo}} \quad 3.5$$

$$\begin{aligned} V_{\text{argamassa de assentamento/tijolo}} &= (0,12 \times 0,08) - (0,11 \times 0,07) \times 0,22 \\ &\approx 0,000418 \text{ m}^3 / \text{tijolo} \end{aligned}$$

em que  $e$  representa a espessura do tijolo e  $A$  representa as respetivas áreas em consideração.



Multiplicando este último valor pelo número de tijolos por metro quadrado e pela densidade deste material obtém-se então o peso da argamassa de assentamento por metro quadrado.

$$m_{\text{argamassa de assentamento}/m^2} = 0,000418 \times 104,1667 \times 1900 = 82,73 \text{ kg}/m^2 \quad 3.6$$

### 3.2.2 Isolamentos e Revestimentos

O isolamento presente nesta solução construtiva é o poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma espessura de 4 cm. O cálculo do peso deste material por metro quadrado é um cálculo que pressupõe apenas possuir o valor da densidade do material e multiplicar pela sua espessura. O valor da densidade, obtido por média de valores do ITE50(Pina dos Santos e Matias, 2006), é de 32,5 kg/m<sup>3</sup>.

$$m_{XPS/m^2} = 32,50 \times 0,04 = 1,3 \text{ kg}/m^2 \quad 3.7$$

Tal como no caso do isolamento, a quantificação do revestimento é um processo relativamente simples pressupondo apenas a multiplicação da espessura do revestimento pela sua densidade. O revestimento da solução construtiva em análise são placas de pedra com uma espessura de 3 cm sendo que a sua densidade, por consulta uma vez mais do ITE50(Pina dos Santos e Matias, 2006), é de 1750 kg/m<sup>3</sup>.

$$m_{\text{pedra}} = 1750 \times 0,03 = 52,50 \text{ kg}/m^2 \quad 3.8$$

## 3.3 QUANTIFICAÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA U

A base de dados desenvolvida nesta dissertação apresenta não só a desempenho em termos de impactes ambientais mas também a desempenho a nível térmica do elemento construtivo (coeficiente de transmissão térmica) e a avaliação dos custos de ciclo de vida das soluções

construtivas em estudo. Aborda-se de seguida a metodologia de cálculo do  $U$  - coeficiente de transmissão térmica.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica é feito através da equação 3.9:

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_i + R_{si} + R_{se}} \quad 3.9$$

Onde  $U$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo ( $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ),  $R_{si}$  e  $R_{se}$  as resistências térmicas superficiais interior e exterior ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ ), respetivamente, e  $R_i$  a resistência térmica da camada  $i$ . O valor preconizado pelo ITE50 (Pina dos Santos e Matias, 2006) para o  $R_{se}$  para elementos opacos verticais é 0,04 e para o  $R_{si}$  é de 0,13  $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$  sendo as resistências térmicas das camadas calculadas da fórmula 3.10:

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad 3.10$$

Onde  $e_i$  é a espessura (m) da camada  $i$  e  $\lambda_i$  a condutibilidade térmica ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) do material constituinte da camada  $i$ . Na Tabela 3.2 é possível observar um excerto da aplicação do coeficiente de transmissão térmica nas Tabelas da base de dados desenvolvida. No caso, um excerto da solução construtiva referenciada com o número 2 que integra uma parede simples em alvenaria de tijolo furado, com isolamento térmico em placas de poliestireno expandido e revestimento exterior em reboco armado.

Tabela 3.2 - Excerto da base de dados referente às propriedades térmicas da solução construtiva de parede exterior número 2

Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					
	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{si}$ (m².°C/W)	$R_{se}$ (m².°C/W)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
<b>Reboco Armado</b>	0,020	0,8000	0,13	0,04	0,0250	<b>0,476</b>
<b>Placas Poliestireno Expandido (EPS)</b>	0,060	0,0438			1,3699	
<b>Tijolo Furado 22cm</b>	0,220	0,3929			0,5200	
<b>Argamassa de Assentamento</b>	0,010	1,3000			0,0077	
<b>Reboco Tradicional</b>	0,010	1,3000			0,0077	

Por aplicação da Equação 3.10 foram obtidos os valores da resistência térmica dos materiais da solução construtiva de parede exterior referenciada com o número 2. O valor da resistência térmica do tijolo furado de 22 centímetros de espessura foi obtido por consulta do ITE50(Pina dos Santos e Matias, 2006) que fornece os valores desta propriedade térmica para estes materiais e ainda para as suas diferentes combinações ao nível de panos duplos de alvenaria.

No caso de se tratarem de fachadas fortemente ventiladas o valor de  $R_{se}$  é igual ao valor de  $R_{si}$ , ou seja, 0,13. Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, que inclui em denominador as resistências térmicas das camadas associadas ao elemento construtiva, como se pode observar pela equação 3.9, são apenas contabilizadas as camadas do interior para o exterior até ao espaço de ar ventilado, exclusive. Na Tabela que se segue é possível observar o exemplo de cálculo já definido previamente, a solução construtiva de parede exterior referenciada pelo número 23, que consiste numa solução de fachada fortemente ventilada, ideal para demonstrar a diferença ao nível do cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) comparativamente às soluções que não incluem fachadas fortemente ventiladas.

Tabela 3.3 - Excerto da base de dados referente às propriedades térmicas da solução construtiva de parede exterior número 23

Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					
	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R si (m².°C/W)	R se (m².°C/W)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Placas de pedra	0,0300	1,3000	0,13	0,13	0,0231	<b>0,596</b>
Perfis de Aço						
Galvanizado	0,0015	0,0200			0,075	
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0,0400	0,0370			1,0811	
Tijolo maciço	0,2200	0,8462			0,3300	
Argamassa de assentamento	0,0100	1,3000			0,0077	

Como referido, para o exemplo em análise, dado que se trata de uma parede de fachada fortemente ventilada, a aplicação da equação 3.9 para cálculo do coeficiente de transmissão térmica não teve em consideração as placas de pedra e a respetiva estrutura de suporte em perfis de aço por se tratarem de elementos exteriores à zona ventilada. Além disso a resistência térmica superficial exterior possui o mesmo valor que a interior, 0,13.

### 3.4 CUSTOS DE CICLO DE VIDA (CCV)

Os custos de ciclo de vida correspondem a uma avaliação do custo de um material ou processo, no caso de materiais de construção. Esta avaliação é abrangente de todo o ciclo de vida dos materiais no sentido de perspetivar melhor aquele que é o real custo que uma solução construtiva terá desde a aquisição do material, passando pela sua aplicação e durante o seu tempo de vida.

No entanto, os custos são variáveis em função da atualidade dos mercados, que por sua vez variam de acordo com a procura e oferta. Além disso, estes preços podem variar de acordo com a zona geográfica e ainda com a época do ano.

Nesse sentido, e por forma a ainda assim incluir na base de dados desenvolvida os custos de ciclo de vida, foi introduzido nas Tabelas de soluções construtivas de paredes exteriores espaço para ser feita a avaliação económica das mesmas.

Em termos de custos de ciclo de vida, foram tidas em conta as seguintes parcelas:

- Custo de Construção ( $C_c$ ), incluindo o custo de aquisição dos materiais e o custo da sua implementação em obra desde o custo de mão-de-obra até ao custo dos meios operacionais;
- Custo de Manutenção ( $C_m$ ), que corresponde ao custo expectável que a solução construtiva terá ao longo do seu tempo de vida em reparos/manutenções, tal como o nome indica.

Sendo que o Custo de Ciclo de Vida de um material ou solução construtiva corresponde à soma destas duas parcelas, como observável na equação 3.11:

$$CCV = C_c + C_m \quad 3.11$$

Como se pode verificar pela Tabela 3.4, o espaço dedicado à avaliação do custo de ciclo de vida das soluções construtivas consiste então nestas duas parcelas de custos associadas a cada material da solução e que estão por preencher uma vez que os valores que se pudessem introduzir no momento de escrita desta dissertação rapidamente se tornariam desatualizados. No entanto, a consulta da base de dados desenvolvida incentiva o leitor a ponderar sobre estas duas parcelas económicas aquando da escolha da solução construtiva.

Como já referido, a ferramenta informática LCA\_PTool terá como base de apoio a base de dados desenvolvida e possuirá igualmente esta parcela dos Custos de Ciclo de Vida por preencher. No entanto, ao nível da ferramenta informática, o utilizador será questionado sobre os custos de ciclo de vida dos materiais de construção que pretende utilizar, tornando este incentivo à reflexão nos custos de ciclo de vida uma tarefa mais intuitiva.

Tabela 3.4 - Excerto da base de dados referente à integração dos Custos de Ciclo de Vida, solução construtiva referenciada pelo número 23

Materiais Considerados	(…)	Custos de Ciclo de Vida	
		Custos de Construção	Custos de Manutenção
Placas de pedra			
Perfis de Aço Galvanizado			
Poliestireno expandido extrudido (XPS)			
Tijolo maciço			
Argamassa de assentamento			
		TOTAL	

### 3.5 ESTRUTURA DA BASE DE DADOS


Após as quantificações mencionadas nos subcapítulos antecedentes foi possível agregar os dados e criar uma base de dados que se apresenta dividida em três segmentos: (1) lista de materiais; (2) lista de transportes; e (3) Tabelas de soluções construtivas de paredes exteriores. A lista de materiais (1) apresenta todos os materiais incluídos na base de dados e respetivos impactes ambientais que um quilograma possui por metro quadrado ( $\text{kg/m}^2$ ), tendo estes sido atualizados ao nível das oito categorias como previamente mencionado. A lista de transportes (2) apresenta os transportes definidos e os impactes ambientais que os mesmos possuem por quilograma-quilómetro ( $\text{kg.km}$ ). Já as Tabelas de soluções construtivas (3) são agregações específicas que apresentam as 28 soluções construtivas de paredes exteriores inicialmente definidas. Estas Tabelas apresentam os materiais integrantes de cada solução, uma breve descrição da mesma, a sua referência, as propriedades de cada material e as propriedades da própria solução em função das propriedades de cada material. As propriedades específicas de cada material que são apresentadas são a condutibilidade térmica, a espessura, a resistência térmica e o peso por metro quadrado. As propriedades da solução construtiva são a resistência

térmica superficial interior e exterior, o coeficiente de transmissão térmica (U) e, por fim, os impactos ambientais *cradle-to-gate* da solução construtiva ao nível das 8 categorias de impacto ambiental preconizadas. Especificamente, a resistência térmica superficial exterior e interior varia em função da solução construtiva, ou seja, caso se trate de uma solução construtiva ventilada ou não ventilada. O coeficiente de transmissão térmica, por sua vez, varia em função das resistências térmicas da solução construtiva. Finalmente, os impactos ambientais de cada solução construtiva são função dos impactos ambientais dos materiais constituintes da mesma que por sua vez são função do peso que cada material possui por metro quadrado.

Além disso, e como já referido, as Tabelas fazem ainda referência ao custo de ciclo de vida dos materiais constituintes das soluções sem atribuir, no entanto, um valor específico, mas guardando espaço e incentivando o leitor ter em consideração. Assim, as Tabelas apresentam os valores do custo de construção, do custo de manutenção e respetivos totais por preencher.

No Anexo I e Anexo II é possível observar na íntegra a referida lista de materiais e lista de transportes (Anexo I) e as Tabelas de soluções construtivas de paredes exteriores (Anexo II). Na Tabela 3.5 é possível observar uma das vinte e oito soluções construtivas. No caso, a solução construtiva com a referência PExt 23 que tem vindo a servir de exemplo ao longo deste terceiro capítulo.

Tabela 3.5 - Solução construtiva de parede exterior (PExt 23), excerto da base de dados desenvolvida

Solução construtiva	Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica								Ref: PExt 23	
	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada		
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
	Cradle-to-gate	2,82E-04	1,89E+02	2,33E-04	7,65E-01	4,15E-02	2,18E-01	2,10E+03	1,21E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m²	Custos por m²	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m².°C/W)	R se (m².°C/W)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Kg/m²	Custos de Construção	Custos de Manutenção
	Placas de pedra 3cm	0,030	1,3000	0,13	0,13	0,0231	0,596	52,50		
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0,002	0,0200			0,0750		3,70		
	Poliestireno expandido extrudido (XPS) 4cm	0,040	0,0370			1,0811		1,20		
	Tijolo maciço 22cm	0,220	0,8462			0,3300		364,58		
	Argamassa de assentamento	0,010	1,3000			0,0077		82,73		
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)									TOTAL	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

### 3.6 APLICAÇÃO INFORMÁTICA DA BASE DE DADOS DESENVOLVIDA

Os dados obtidos aquando das quantificações, e que deram posteriormente origem às listas e Tabelas supramencionadas, foram posteriormente agregadas numa ferramenta informática desenvolvida com o apoio de programadores da Start-Up Braga e que foi apelidada de LCA PTool, *Life Cycle Assessment, Portuguese Tool*. O principal objetivo foi o de esta base de dados estar adaptada à era digital e pronta para avanços e desenvolvimentos futuros (novas soluções construtivas, novos materiais, etc.). Além disso, a sua presença *online* facilita largamente o seu acesso pelo público alvo, estudantes de cursos de Engenharia Civil (abordagem pedagógica) e agentes envolvidos nos processos de construção (abordagem comercial), tornando este processo bastante expedito, indo ao encontro aos objetivos preconizados inicialmente.

A ferramenta informática pretende ser a comunhão entre os dados obtidos e o público para o seu máximo proveito e aplicação real em obra e nas salas de aula a fim de se alcançar o objetivo principal desta dissertação de apoiar na redução dos impactes ambientais da construção e no cumprimento das metas preconizadas para 2020 e, ao mesmo tempo, sensibilizar para a importância e necessidade de ter em consideração os impactes ambientais dos materiais utilizados aquando de todo o seu ciclo de vida.

Em termos técnicos, o LCA\_PTool é uma ferramenta informática desenvolvida na *framework* de aplicações *web Ruby on Rails 5* com o auxílio do sistema de bases de dados relacionais *SQLite3*. Os dados foram modelados numa base de dados relacional tendo em conta a sua natureza. Nesse sentido foram desenvolvidos vários modelos, sendo eles o BaseMaterial, MaterialComposition e Construsolution.

O BaseMaterial partilha de uma relação muitos-para-muitos com MaterialComposition, sendo que vários BaseMaterials podem ser parte constituinte de vários MaterialCompositions havendo uma Tabela intermédia para fazer o mapeamento. O mesmo acontece com MaterialComposition e Construsolution que partilha de uma relação de muitos-para-muitos da mesma maneira descrita anteriormente. Isto permite a criação de materiais customizados a partir de uma base genérica, assim como a criação de várias soluções construtivas a partir dos mesmos materiais, sendo todos os valores de impactos ambientais dependentes da Tabela BaseMaterials que propaga as suas atualizações através das duas relações muitos-para-muitos presentes na modelação dos dados.



De modo geral a escolha das ferramentas deve-se à sua facilidade para o desenvolvimento rápido que permite a criação de protótipos funcionais em tempo útil e focado nas funcionalidades. Para além de *Ruby On Rails* e *SQLite* também se recorreu ao pré processador *SLIM* para o *frontend* da aplicação bem como à *framework Bootstrap* para desenvolvimento da interface da aplicação.

Em termos menos técnicos e mais práticos, a ferramenta desenvolvida possui um *layout* bastante neutro e um leque de ações disponíveis ao utilizador todas elas bastante intuitivas por forma a que o mesmo consiga fazer o melhor uso da ferramenta sem entraves ou complicações e com a seriedade. As ações disponíveis baseiam-se na base de dados desenvolvidas (as listas de materiais, transportes e Tabelas de soluções construtivas de paredes exteriores) sendo elas a possibilidade de:

- Inserir os dados de um material, com base nos materiais considerados;
- Criar/montar soluções construtivas;
- Comparar soluções construtivas ao nível da sua desempenho em termos de Impactes Ambientais de ciclo de vida, custos de ciclo de vida e eficiência térmica;

Estas funcionalidades serão apresentadas em detalhe no capítulo seguinte.



## 4 APRESENTAÇÃO DO LCA\_PTool

A ferramenta informática LCA\_PTool é uma ferramenta de cálculo expedito de impactos ambientais de soluções construtivas para apoio à tomada de decisão e escolha da solução construtiva mais sustentável, podendo ainda ser feita a sua análise e basear a sua escolha em função da sua eficiência térmica e custos de ciclo de vida. A ferramenta encontra-se no servidor da Universidade do Minho e, como referido anteriormente, tem como base de apoio a base de dados desenvolvida na presente dissertação.

O LCA PTool apresenta-se, como é visível no excerto da Figura 4.1, com um *layout* de boas vindas apresentando a ferramenta e o âmbito em que surge, bem como as suas funcionalidades essenciais. O design simples, neutro e sóbrio confere um ambiente confortável e intuitivo para o uso da ferramenta. Nesta mesma página inicial ou introdutória é possível observar as quatro opções essenciais da ferramenta: Materiais (consultar), Material Derivado (criar/consultar), Soluções Construtivas (criar/consultar) e Comparar Soluções (comparar).

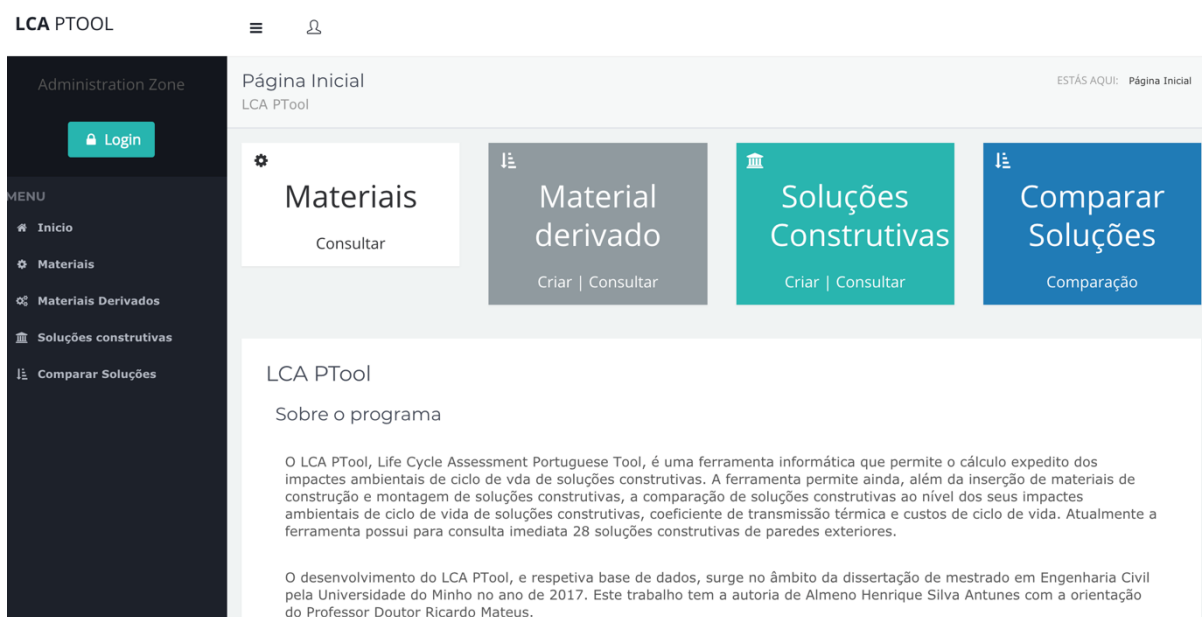


Figura 4.1 – Excerto da página inicial da ferramenta LCA\_PTool

Ainda nesta página inicial, e como é também visível na Figura 4.1, é possível desbloquear uma barra lateral com as mesmas funcionalidades, mas que permitem navegar e fazer uso destas sem ter de recorrer sempre ao menu inicial. Esta barra lateral permite assim ao utilizar

passar da opção “Soluções Construtivas” diretamente para a opção de “Comparar Soluções”, por exemplo.

Na mesma barra lateral é possível observar um botão **Log In** para entrar na zona de administrador com as devidas credenciais. A zona de administrador é uma zona que permite essencialmente gerir todos os dados, isto é, permite ver os dados, editar e/ou atualizar dados referentes a algum material, acrescentar novos materiais, eliminar algum que porventura deixa de ser usual e/ou se torne obsoleto e ainda editar as soluções construtivas inseridas. Além disso permite, como o nome indica, administrar a ferramenta e o uso dos utilizadores. Esta é uma função essencial para um futuro alargamento e crescimento da ferramenta com mais e novos materiais e soluções e que permitirá que a ferramenta seja sempre atual uma vez que permite atualizar os valores dos impactes ambientais de ciclo de vida.

Na Figura 4.2 é apresentado o painel para acréscimo de um novo material. O acréscimo de um novo material à base de dados pressupõe a introdução da sua descrição, os impactes ambientais de ciclo de vida ao nível das 8 categorias de impacto ambiental consideradas e por fim a condutibilidade térmica ( $\lambda$ , lambda). Convém assim referir que a lista de materiais de construção inclui apenas os impactes ambientais de ciclo de vida e a condutibilidade térmica dos mesmos. Os restantes dados são inseridos pelo utilizador posteriormente conferindo assim maior versatilidade à ferramenta.

The image shows a web-based form titled "New Base Material". On the left side, there is a vertical list of labels for different data fields: Description, Adp, Gwp, Odp, Ap, Pocp, Ep, Enr, Er, and Lambda. To the right of each label is a text input field. The "Ap" field has a small circular icon with a plus sign next to it. At the bottom of the form, there are two buttons: "Create Base material" and "Cancel".

Figura 4.2 – Inserção de um novo material à base de dados do LCA\_PTool

Voltando às funcionalidades de acesso comum, e começando pela opção ‘‘Materiais (consultar)’’, esta é, como o nome indica, o local onde estão discriminados os materiais considerados na base de dados (Figura 4.3). É uma opção essencial para o utilizador na medida em que pode consultar de antemão os materiais que estão considerados na ferramenta para posterior criação de uma solução construtiva e, até, por observação direta, é possível tirar conclusões sobre um material que à partida será o menos impactante em termos ambientais. No entanto é sempre aconselhável a confirmação através da opção de comparação uma vez que esta listagem não inclui os impactes associados ao transporte e também no sentido de ter em consideração o custo de ciclo de vida da solução e a sua eficiência térmica, ou seja, sob uma perspetiva mais abrangente e completa.

DATA TABLES ↗ ↘ ✕

Show  entries

Search:

Descrição	ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO <sub>2</sub> eq)	POPC (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (Kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	λ (W/m.°C)
Aglomerado de Madeira e Cimento	0.000279	291.0	1.66e-05	0.946	0.0459	0.276	2380.0	1200.0	0.23
Alumínio. 50% reciclado	6.42e-05	7.77	1.72e-06	0.0616	0.0039	0.0311	121.0	14.9	230.0
Argamassa de Cal	3.08e-07	0.834	3.33e-08	0.00215	9.22e-05	0.000568	4.58	0.357	1.55
Argamassa de cimento	2.03e-07	0.309	1.58e-08	0.00102	4.42e-05	0.000297	2.12	0.245	1.55
Azulejo/mosaico cerâmico	4.58e-05	0.75	7.25e-08	0.00508	0.00028	0.00147	10.9	0.737	0.66
Aço em perfil	2.45e-05	1.84	9.81e-08	0.00901	0.000921	0.0056	18.4	1.7	50.0
Aço em varão	1.06e-05	2.39	1.26e-07	0.0103	0.00124	0.00467	22.6	1.23	50.0
Betume asfáltico	6.4e-06	2.12	5.04e-07	0.0184	0.000975	0.00404	53.5	3.25	0.17
Betão	0.000316	398.0	1.96e-05	1.11	0.0465	0.278	2390.0	100.0	1.825

Figura 4.3 – Excerto da tabela de materiais e respetivos dados.

De seguida, e pela ordem enumerada anteriormente e que a ferramenta apresenta, temos a opção ‘‘Material Derivado (criar/consultar)’’. Através desta opção, o utilizador poderá criar um novo material, para posteriormente utilizar para a montagem de soluções construtivas. Esta criação passa essencialmente pela escolha de um material da lista anteriormente referida e pela sua caracterização. Assim, tal como é observável pela Figura 4.4, o utilizador nesta secção deverá escolher a tipologia do material, ou seja, se será uma alvenaria simples ou uma alvenaria dupla ou um material genérico. Esta divisão surge apenas por motivos de simplificação e otimização da ferramenta ao nível dos cálculos associados, como é explicado

posteriormente. Além da tipologia, o utilizador deverá inserir uma descrição do material, inserir a sua espessura, o seu peso por metro quadrado, o seu custo de construção e o seu custo de manutenção. A descrição serve para apoiar na distinção de materiais criadas a partir do mesmo material base. Por exemplo, isolamento em “poliestireno expandido com 4 centímetros de espessura” e “poliestireno expandido com 6 centímetros de espessura”. Por sua vez, a espessura será utilizada para o cálculo da respetiva resistência térmica e o peso por metro quadrado para o cálculo dos impactes ambientais e ciclo de vida do material. O custo de construção e o custo de manutenção serão os valores a ter em conta para a respetiva avaliação dos custos de ciclo de vida. Ainda neste capítulo, após a apresentação das várias funcionalidades do LCA\_PTool, será feita uma demonstração prática do uso da ferramenta para uma melhor compreensão da mesma. De referir ainda que esta opção da ferramenta permite ainda consultar os materiais até então criados e o gestor da ferramenta pode eliminar ou editar as mesmas a qualquer momento.

Figura 4.4 - Painel de inserção de dados de um novo material na ferramenta LCA\_PTool

A opção de criar ou consultar soluções construtivas é a seguinte na lista e permite ao utilizador consultar uma das 28 soluções construtivas de paredes exteriores inseridas desde já na ferramenta ou criar uma nova solução. Esta criação teria como base os materiais derivados previamente criados que por sua vez são criados com base na lista inicial genérica de materiais.

Ao nível da opção de criar uma solução construtiva, o utilizador é apresentado com uma pequena Tabela para preencher com o nome/descritivo da solução construtiva, a sua referência para identificação, havendo ainda a possibilidade de inserir uma imagem que idealmente será um corte da solução construtiva. De seguida, o utilizador deve então montar a solução escolhendo os materiais que a compõem, materiais estes previamente criados ao nível da funcionalidade “Material Derivado”. De referir ainda que o utilizador pode criar soluções construtivas de elementos ventilados. Para tal, na mesma opção, o utilizador deverá escolher a opção “Novo Elemento Ventilado” e colocar os materiais da solução construtiva nessa secção, divididos pela sua posição relativa ao nível solução construtiva, ou seja, exterior ou interior à zona ventilada. Esta separação dos materiais exteriores ou interiores à camada ventilada surge no sentido de adaptar os cálculos para o elemento ventilado uma vez que, como referido anteriormente no subcapítulo 3.3, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica não tem em conta a resistência térmica dos materiais exteriores à área ventilada e o valor da resistência térmica superficial interior e exterior são o mesmo (0,13). Após definir os materiais, a solução está pronta a ser criada através do botão “Create Construsolution”. A solução fica assim visível para consulta ou para posterior uso ao nível da última funcionalidade da ferramenta, a comparação. A Figura 4.5 é possível observar todos os detalhes mencionados desta funcionalidade.

Figura 4.5 – Excerto da ferramenta LCA\_PTool: Criação de uma nova solução construtiva

Ao nível da consulta, o utilizador pode clicar na solução que deseja consultar e ser-lhe-á apresentada a Tabela correspondente com os respetivos dados de cada material, inseridos

previamente pelos utilizadores. Além disso, a Tabela apresenta ainda os valores já calculados das resistências térmicas de cada material, as resistências térmicas interior e exterior (em função da solução ser ventilada ou não), o coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva, os impactos ambientais de ciclo de vida totais ao nível das 8 categorias de impacto ambiental preconizadas e, finalmente, os custos de construção e manutenção de cada material e os totais da solução. A Tabela apresenta então os valores totais da solução construtiva ao nível das 3 categorias definidas inicialmente nesta dissertação: Impactes ambientais de ciclo de vida, eficiência térmica (U) e custos de ciclo de vida (CCV). A Figura 4.6 apresenta um exemplo de uma Tabela retirada da ferramenta LCA\_PTool, no caso a solução construtiva da parede exterior referenciada pelo número 23, a mesma que tem vindo a ser usada como exemplo.

Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontinuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica							Ref: PExt 23		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA					Energia incorporada			
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg CH4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	2.82E-04	1.89E+02	2.33E-04	7.65E-01	4.15E-02	2.18E-01	2.10E+03	1.20E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					Quantidade por m2		Custos C / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Tijolo Maciço 22cm	0.220	0.6600	0.13	0.13	0.3300	0.5961	364.58	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM22	0.010	1.5500			0.0065		82.73	0.00	0.00
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Placas de Pedra 3cm	0.030	1.3000			0.0231		52.50	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Figura 4.6– Tabela de dados de solução construtiva (PExt23), excerto do LCA\_PTool

Por fim, a última funcionalidade “Comparar Soluções” permite ao utilizador comparar até 3 soluções construtivas simultaneamente no sentido de avaliar qual a melhor solução essencialmente ao nível dos seus impactos ambientais de ciclo de vida. No entanto, esta análise é complementada com a sua eficiência térmica e respetivos custos de ciclo de vida. Nesta funcionalidade o utilizador acrescenta ainda o tipo de transporte e a distância a ser percorrida pelo mesmo para entregar no local de construção os respetivos materiais de construção. Desta forma a comparação ao nível dos impactos ambientais de ciclo de vida inclui não só os impactos relativos aos materiais que incluem a solução, mas também o seu respetivo transporte. A Figura 4.7 demonstra este processo de definição do tipo de transporte e distância a percorrer ao nível da solução construtiva de parede exterior número 23. Os



valores atribuídos para a distância e o meio de transporte escolhidos são meramente exemplificativos.

Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontinuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica								Ref: PExt 23
Image	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA							Energia incorporada
		ADP (kg Sb eq)	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (kg CFC-11 eq)	AP (kg SO <sub>2</sub> eq)	POPC (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
	Cradle-to-gate	2.82E-04	1.89E+02	2.33E-04	7.65E-01	4.15E-02	2.18E-01	2.10E+03	1.20E+02
	Materiais Considerados	Quantidade por m <sub>2</sub>	Tipo de transporte			Distância			
		kg / m <sub>2</sub>	Selecione o transporte			Selecione a distância			
	Tijolo Maciço 22cm	364.58	Comboio de carga			400			
	Argamassa de Assentamento TM22	82.73	Veículo ligeiro comercial de carga			200			
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	3.70	Camião de carga entre 3,5 e 7,5 toneladas			1000			
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	1.20	Camião de carga entre 7,5 e 16 toneladas			50			
	Placas de Pedra 3cm	52.50	Camião de carga superior a 32 toneladas			10			
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)									
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process									
<a href="#">Comparar</a>									

Figura 4.7 – Definição do tipo de transporte e distância a percorrer para entrega de materiais ao nível da funcionalidade “Comparar Soluções” do LCA\_PTool.

De seguida é feita a comparação propriamente dita. Nesta parte o LCA\_PTool compara diretamente cada uma das categorias de impacte ambiental das soluções em estudo, tendo sido já previamente feito o somatório dos impactes provenientes do transporte, e compara ainda os valores do custo de construção, custo de manutenção e coeficiente de transmissão térmica. Ao pior valor da comparação é atribuída a cor vermelha e ao melhor valor é atribuída a cor verde, sendo o valor intermédio identificado pela cor amarela.

O processo de comparação pode ser visualizado posteriormente na FFigura 4.12 do seguinte subcapítulo onde será feita uma demonstração prática do uso da ferramenta.

#### 4.1 Aplicação Prática do LCA PTool

Para esta aplicação prática do LCA PTool, a solução construtiva de parede exterior número 23 servirá uma vez mais de exemplo. A solução consiste numa parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica. A aplicação prática servirá igualmente como tutorial para a ferramenta, bem como todo o capítulo 4. A presente aplicação prática contemplará a caracterização dos materiais base em materiais derivados, a montagem da respetiva solução construtiva com os materiais derivados definidos e, por fim, a sua comparação com duas outras soluções, as soluções construtivas de paredes exteriores número 1 e número 11.

#### **a) Introdução e caracterização dos materiais**

O primeiro passo para avaliar os impactos ambientais de uma solução construtiva através do LCA PTool é o de verificar na lista de Materiais Base se os materiais que compõe a solução construtiva em mente estão presente/já inseridos. Em caso afirmativo, o utilizador pode avançar para a seguinte tarefa de caracterizar esses mesmos materiais através da funcionalidade de criar/consultar um Material Derivado. Caso um ou mais materiais não estejam presentes na base de dados da ferramenta, o utilizador deverá solicitar ao administrador a sua introdução facultando as seguintes informações: (1) Designação do material; (2) valor dos impactos ambientais ao nível das 8 categorias de impacto ambiental definidas e ainda a sua condutibilidade térmica. Caso o utilizador não tenha acesso a alguma ferramenta para adquirir o valor dos impactos ambientais deverá igualmente solicitar a introdução do mesmo material, o qual será feito por um dos administradores em tempo útil. Na fase seguinte, a fase de caracterização do material, o utilizador deverá introduzir os dados referentes a cada material que inclui a solução. No caso, a solução construtiva de parede exterior número 23 é uma parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço de 22cm e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra de 3cm, fixo em estrutura metálica, com isolamento em XPS de 4cm. Na Figura 4.8 é ilustrado este processo nomeadamente ao nível introdução dos dados do revestimento exterior descontínuo em placas de pedra de 3cm. Este processo implica que o utilizador introduza um descritivo, neste caso definido como “Placas de Pedra 3cm (exemplo)”, a sua espessura e o seu peso por metro quadrado, 0,03 e 52,50 respetivamente, e o seu custo de construção e de manutenção, definidos em 1000 euros e 300 euros respetivamente (os valores dos custos são arbitrados e definidos apenas para fins de explicação da ferramenta). De referir que o peso por metro

quadrado de cada material deve ser calculado anteriormente à utilização do LCA PTool para sua posterior introdução. Por fim, o utilizador deverá ainda definir aquilo que está a criar, ou seja, se se trata de uma alvenaria simples ou dupla ou um outro material, e ainda escolher o material da lista de materiais base. Esta última escolha é que irá influenciar o cálculo dos impactes ambientais uma vez que os materiais base guardam a informação relativa aos impactes ambientais que esse material possui num quilograma por metro quadrado.

The screenshot shows the 'Material Derivado' section of the LCA PTool interface. At the top, it says 'Criar Novo Material Derivado' and 'ESTÁS AQUI: Novo Material Derivado > Criar Novo'. Below this is a header 'NOVO MATERIAL DERIVADO'. The main form has the following fields:

- Criar novo:** A dropdown menu with 'Material' selected.
- Descrição:** A text input field containing 'Placas de pedra 3cm (exemplo)'.
- Escolher Material:** A dropdown menu with 'Placa de pedra' selected.
- Espessura (m):** A text input field containing '0,03'.
- Peso (kg/m2):** A text input field containing '52,50'.
- Custo de Construção (€):** A text input field containing '1000'.
- Custo de Manutenção (€):** A text input field containing '300'.

At the bottom left of the form is a green button labeled 'Create Material composition'.

Figura 4.8 – Aplicação prática LCA PTool: Caracterização do revestimento exterior (placas de pedra) da solução construtiva nº23

O mesmo procedimento deverá ser efetuado para os restantes materiais da solução, ou seja, para o isolamento em XPS, a alvenaria de tijolo e a estrutura metálica de suporte ao revestimento exterior. O caso da caracterização das alvenarias é um caso particular, como é visível pela Figura 4.9, pelo que se também irá exemplificar a introdução de alvenarias, no caso, alvenaria simples de tijolo maciço de 22cm. No caso das alvenarias, o utilizador deve introduzir manualmente o valor da resistência térmica que, tal como preconizado pela publicação “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios” do LNEC-Laboratório Nacional de Engenharia Civil, é um valor Tabela do e função do tipo de alvenaria, simples ou dupla, e os materiais que a compõem.

Material Derivado ESTÁS AQUI: Novo Material Derivado > Criar Novo

Criar Novo Material Derivado

---

NOVO MATERIAL DERIVADO

**Criar novo:** Alvenaria: Parede Simples ▾

**Descrição** Tijolo Maciço 22cm (exemplo)

**Escolher Material:** Tijolo cerâmico

**Espessura (m)** 0,22

**Peso (kg/m<sup>2</sup>)** 364,58

**Resistência Térmica** 0,33  
Consultar Tabela

**Custo de Construção (€)** 400

**Custo de Manutenção (€)** 0

Figura 4.9 - Aplicação prática LCA PTool: Caracterização da alvenaria da solução construtiva nº23 (simples, tijolo maciço 22cm)

As Tabelas 4.1 e 4.2 são adaptações da publicação mencionada.

Tabela 4.1 – Resistência Térmica de alvenarias simples em função do tipo de elemento e sua espessura (Adaptado de: LNEC, 2006 )

Tipos de elementos		Espessura da alvenaria (m)								
		0,03	0,04	0,07	0,09	0,10 0,11	0,15	0,19 0,20 0,22	0,24 0,25	0,3
Tijolos Cerâmicos	furado (normal)	0,07	0,1	0,19	0,23	0,27	0,39	0,52	0,56	-
	maciço	-	-	0,08	-	0,13		-	-	-
Blocos de betão	normal	-	-	-	-	0,16	0,2	0,3	0,33	0,37
	leve	-	-	-	-	0,27	0,31	0,49	0,54	0,59

Por análise da Tabela 4.1 concluímos que há valores não determinados e o caso do nosso exemplo, alvenaria simples de tijolo maciço de 22cm, é um desses casos. Nesta situação é aconselhado o cálculo deste valor por algum modelo aritmético. No caso da Figura 4.9, a resistência térmica do elemento foi calculada recorrendo a uma extrapolação linear. No caso de se estar a caracterizar uma alvenaria dupla o utilizador terá à sua disposição a Tabela 4.2

cuja consulta é bastante simples e segundo o mesmo princípio que a Tabela 4.1. Mais uma vez, os custos de manutenção e construção foram arbitrados e o peso por metro quadrado foi calculado previamente segundo a metodologia apresentada nos capítulos anteriores.

Tabela 4.2 - Resistência Térmica de alvenarias duplas em função do tipo de elemento e sua espessura (Adaptado de: LNEC, 2006)

Tipos de elementos	Espessura (m)			
	0,11 0,11	0,11 0,15	0,15 0,15	
tijolo furado tijolo furado	0,72	0,84	0,96	
tijolo maciço tijolo furado	0,58	0,7	-	
normal bloco de betão	0,5	0,54	0,58	
bloco de betão leve bloco de betão leve	0,72	0,76	0,8	
Pano de betão ou de pedra	Espessura (m)	Pano de alvenaria	Espessura (m)	
			0,11	0,15
<b>betão normal</b>	0,10 a 0,20	tijolo furado	0,53	0,65
		tijolo maciço	0,39	-
		bloco de betão normal	0,42	0,46
		bloco de betão leve	0,53	0,57
<b>pedra</b>	0,4 a 0,6	tijolo furado	0,63	0,75
		tijolo maciço	0,49	-
		bloco de betão normal	0,52	0,56
		bloco de betão leve	0,63	0,67

## b) Montagem da solução construtiva

Após a caracterização de todos os materiais, o utilizador está pronto a iniciar a montagem da solução. Para tal, basta aceder à respetiva funcionalidade e escolher os materiais correspondentes que introduziu e caracterizou anteriormente. Aquando da montagem, o utilizador deve indicar se o elemento é ventilado ou não sendo que, no caso de se tratar de um elemento ventilado, a escolha dos materiais será separada entre materiais exterior à zona ventilada (não contabilizados ao nível da sua resistência térmica para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica) e materiais interiores à zona ventilada. Além disso, é solicitado ao utilizador que indica uma descrição e referência para a solução construtiva, sendo ideal que a descrição enumere os materiais incluídos na solução. A Figura 4.10 apresenta toda esta informação.

Figura 4.10-Aplicação prática LCA PTool: Montagem da solução construtiva

O resulta da montagem desta solução construtiva exemplificativa é visível na Figura 4.11, uma Tabela com todos os dados referentes à solução construtiva desde que se iniciou a inserção dos mesmos. A solução criada possui então os dois materiais criados para fins exemplificativos, o revestimento exterior em placas de pedra de 3cm e a alvenaria simples de tijolo maciço de 22cm, sendo os restantes materiais que compõe a solução introduzidos diretamente da base de dados do LCA PTool, não se encontrando por esse motivo com valores de custos de construção e manutenção associados. De referir ainda o valor de  $R_{se}$  e  $R_{si}$

que se encontram igualados por se tratar de uma solução construtiva ventilada, como referenciado no capítulo 3 desta dissertação.

### c) Comparação soluções construtivas

Finalmente, a opção final da ferramenta é a da comparação. Para este exemplo prático serão usadas duas soluções construtivas de paredes exteriores da base de dados (solução 1 e 11) juntamente com a solução recentemente criada. A comparação será entre três soluções, não sendo recomendado que se ultrapasse este número. A solução construtiva de parede exterior número 1 corresponde a uma parede simples em alvenaria de tijolo furado (22cm), com reboco armado, sobre isolamento contínuo pelo exterior enquanto que a solução construtiva número 11 corresponde a uma parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo furado (11cm), caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico, e pano interior em alvenaria de tijolo furado (11cm).


Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica							Ref: Parede Exemplo (PEXt 23)		
 NO IMAGE FOUND	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	2.82E-04	1.89E+02	2.33E-04	7.65E-01	4.15E-02	2.18E-01	2.10E+03	1.20E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos C / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Argamassa de Assentamento TM22	0.010	1.5500	0.13	0.13	0.0065	0.5961	82.73	0.00	0.00
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Placas de pedra 3cm (exemplo)	0.030	1.3000			0.0231		52.50	1000.00	300.00
	Tijolo Maciço 22cm (exemplo)	0.220	0.6600			0.3300		364.58	400.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	1400.0	300.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Figura 4.11- Aplicação prática LCA PTool: Resultado da introdução, caracterização e montagem da solução construtiva exemplo

Para se proceder ao uso da funcionalidade de comparação, o utilizador deve seleccionar as soluções construtivas que pretende comparar e de seguida ser-lhe-á questionado, para cada material de cada solução, o meio de transporte que o deslocará para o local da construção e ainda que distância o mesmo transporte irá percorrer. O utilizador tem à escolha os transportes

já elencados no terceiro capítulo desta dissertação cujos impactes ambientais, correspondentes ao transporte de um quilómetro de distância com um quilograma de peso, serão multiplicados pelo peso que o material possui, que o utilizador inseriu numa fase anterior, e pela distância que o utilizador insere nesta fase.

Por forma a simplificar este processo, foram atribuídos os seguintes transportes e distâncias. Comboio de carga e distância de 100km para todos os materiais da solução construtiva número 1, veículo ligeiro comercial de carga e distância de 100km para todos os materiais da solução construtiva número 11 e camião de carga superior a 32toneladas percorrendo uma distância de 100km para a solução construtiva exemplo equivalente à solução construtiva 23.

A Figura 4.12 apresenta então a comparação entre estas 3 soluções construtivas.

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples em alvenaria de tijolo furado (22cm), com reboco armado, sobre isolamento contínuo pelo exterior								Ref: PExt 1		
	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada				
	ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO <sub>2</sub> eq)	POPC (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (Kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	Custo Construção (€/m <sup>2</sup> )	Custo Manutenção (€/m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Total	6.77E-05	6.58E+01	2.56E-03	1.37E+01	1.08E+00	1.18E+03	6.79E+02	4.21E+01	0.0	0.0	0.6093

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo furado (11cm), caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico, e pano interior em alvenaria de tijolo furado (11cm)								Ref: PExt 11		
	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada				
	ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO <sub>2</sub> eq)	POPC (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (Kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	Custo Construção (€/m <sup>2</sup> )	Custo Manutenção (€/m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Total	2.22E-04	1.23E+02	2.30E-04	4.51E-01	2.99E-02	1.24E-01	1.38E+03	6.16E+01	0.0	0.0	0.4976

Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica								Ref: Parede Exemplo (PExt 23)		
	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada				
	ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO <sub>2</sub> eq)	POPC (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (Kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	Custo Construção (€/m <sup>2</sup> )	Custo Manutenção (€/m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Total	2.90E-04	1.93E+02	2.34E-04	7.88E-01	4.24E-02	2.24E-01	2.17E+03	1.21E+02	1400.0	300.0	0.5961

Figura 4.12 - Aplicação prática LCA PTool: Resultado da comparação entre soluções construtivas 1, 11 e 23 (exemplo).

Como mencionado anteriormente, a coloração vermelha surge nos piores valores, a coloração verde nos melhores e a amarela nos intermédios. O resultado é bastante intuitivo e, numa primeira análise desta comparação, seria de esperar que a solução construtiva exemplificativa não fosse a seleccionada uma vez que não possui nenhum valor “positivo”. No entanto, esta análise deverá ser feita com caução e analisando cuidadosamente a diferença numérica entre a melhor e a pior opção de cada categoria que, por vezes, e dada a ordem de grandeza com que



se trabalha a questão dos impactes ambientais, pode não ser extremamente significativa. No entanto o coeficiente de transmissão térmica,  $U$ , e os custos de ciclo de vida, CCV, deverão apoiar esta tomada de decisão.

Finalmente, a imagem 4.13 apresenta a área de administrador/gestor que permite a eliminar, editar e adicionar materiais base, materiais derivados, soluções construtivas e os tipos de transporte do LCA PTool, permitindo assim que a ferramenta seja atualizada à medida que mais e melhores soluções construtivas surgem no panorama da construção civil. Além disso, os valores dos impactes ambientais são também atualizados regularmente o que implica uma atualização da ferramenta.

Esta área permite criar/gerar novos administradores pela opção *Admin Users* e ainda adicionar novos materiais base, ou seja, materiais com os impactes calculado ao nível de um quilograma

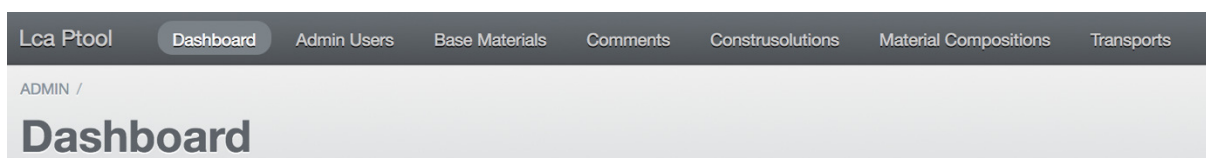


Figura 4.13- Zona de administrador da ferramenta LCA PTool

por metro quadrado, através da opção *Base Materials*, como já foi possível observar pela Figura 4.3. Além de adicionar, esta funcionalidade permite também eliminar materiais base ou editar ao nível da sua descrição, impacto ambiental de cada categoria e ainda o valor da condutibilidade térmica.

A funcionalidade *Transports* possui as mesmas funções que a funcionalidade *Base Materials* mas aplicado aos transportes considerados. Assim, esta opção permite ver, editar e/ou eliminar um meio de transporte, sendo igualmente possível acrescentar um meio de transporte novo ou atualizar o valor dos impactes ambientais de um transporte já inserido. De seguida, a opção *Comments* oferece um espaço de comunicação entre gestores/administradores do LCA PTool onde os mesmos podem deixar comentários referentes aos mais diversos assuntos que surjam sobre a ferramenta. Por exemplo, alguma atualização à ferramenta ou algum problema técnico que possa surgir.

A opção *Construsolutions* permite ver, editar ou eliminar as soluções construtivas existentes no LCA PTool. Ao nível da edição é possível alterar os dados identificativos, ou seja, a

descrição e a referência. Quanto a eliminar uma solução, esta é uma opção fulcral no sentido de ser possível proceder a limpeza de dados inseridos. A figura 4.14 ilustra a área de edição.

The screenshot shows the 'Edit Base Material' form in the LCA PTool administrator interface. The form is titled 'Edit Base Material' and is located under the 'Base Materials' tab. The form contains the following fields:

Field	Value
Description	Blocos de Betão Furado
Adp	3.99e-07
Gwp	0,192
Odp	1.2e-08
Ap	0,000621
Pocp	2.78e-05
Ep	0,000194
Enr	1,3678857
Er	0,101
Lambda	0,6667

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Update Base material' and 'Cancel'.

Figura 4.14– Edição de dados associados a um material base na área de administrador do LCA PTool

Por fim, a opção *Materials Compositions* permite ver, editar ou anular dados referentes aos materiais inseridos com base nos materiais base. A opção de editar desta funcionalidade permite alterar o valor do custo de construção, custo de manutenção e ainda a condutibilidade térmica.

The screenshot shows the 'Edit Construsolution' form in the LCA PTool administrator interface. The form is titled 'Edit Construsolution' and is located under the 'Construsolutions' tab. The form contains the following fields:

Field	Value
Name	Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica
Ref	Parede Exemplo (PExt 23)

Figura 4.15 – Edição de soluções construtivas na zona de administrador do LCA PTool

## **5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS**

Como foi possível perceber durante a dissertação elaborada, o estudo e avaliação dos impactes ambientais no setor da construção é impreterível no sentido de viabilizar esta atividade e acima de tudo viabilizar a sobrevivência das gerações futuras neste planeta que é de nós todos.

Ao longo do segundo capítulo principalmente, nomeado de Estado da Arte, foi possível perceber esta situação e concluir sobre a elevada pertinência do estudo, base de dados e ferramenta informática desenvolvidos para esta dissertação dada a realidade atual a este nível presente na demais bibliografia e estudos já realizados. Este foi o principal contributo do capítulo, informar o leitor sobre o panorama atual do setor da construção ao nível dos impactes ambientais que este setor acarreta e as consequências anexadas a esta atividade, sensibilizando para a iminente necessidade de intervir e combater as barreiras que se foram criando à aplicação de métodos e ferramentas promotores de uma construção e desenvolvimento sustentável. Além disso, este capítulo revela-se como uma enorme contribuição para os objetivos da dissertação através da extensa explicação da análise de ciclo de vida, desde a sua origem e sua aplicação prática até aos seus benefícios, limitações e utilização em contexto no setor construção. Por fim, este capítulo apresenta duas análises bastante pertinentes, a análise do ensino desta vertente de construção sustentável nos cursos de engenharia civil em universidades portuguesas e a análise das bases de dados e ferramentas ACV previamente desenvolvidas e ao dispor do setor. A primeira análise demonstrou que de facto o ensino desta vertente é reduzido, confinado a uma unidade curricular na maior parte dos casos opcional, ou até inexistente. A segunda comprovou que as bases de dados e ferramentas existentes e previamente desenvolvidas não apoiam os seus utilizadores, dada a sua complexidade ou morosidade de aplicação, sendo passíveis até de se apresentar como uma nova barreira à consideração dos impactes ambientais das construções uma vez que o setor apresenta, como referido também neste capítulo, um elevado défice de competências e conhecimentos neste domínio.

O terceiro capítulo deste trabalho contribui para a elucidação do leitor relativamente à montagem da nova base de dados de impactes ambientais, a qual foi atualizada e revista. Além disso, este capítulo apresenta a nova extensão que a base dados, e posteriormente a

ferramenta informática, passaram a possuir, isto é, o crescimento da base de dados de impactes ambientais de ciclo de vida para uma base de dados que tem também em consideração a eficiência térmica e de custos de ciclo de vida dos soluções construtivas e materiais de construção, permitindo fazer uma análise mais completa relativamente aos materiais de construção e/ou soluções construtivas de paredes exteriores ideais e a adotar em função destes parâmetros. Assim, a presente base de dados permite a expedita e intuitiva tomada de decisão por partes dos agentes responsáveis. Desta forma é possível combater o baixo nível de conhecimentos por parte destes agentes ao nível da sustentabilidade no setor da construção e ultrapassar a morosidade associada a este processo. Este revela-se como um pertinente contributo para ultrapassar as principais barreiras à aplicação de soluções construtivas com menor impacte do ponto de vista ambiental e ainda as mais rentáveis do ponto de vista económico, com a contabilização, não só do custo de aquisição e aplicação do material, mas também do custo de manutenção. O capítulo em questão apresenta ainda os impactes ambientais associados aos mais correntes meios de transporte de materiais de construção, englobando assim todos os impactes ambientais pré-construção uma vez que tem em conta os impactes ambientais dos materiais desde a sua extração até à sua produção e ainda o impacte ambiental gerado pelo meio de transporte que faz a entrega dos mesmos materiais no local de construção em função da distância, do peso e do meio utilizado.

Por fim, o quarto capítulo eleva a fasquia e agrega a nova base de dados numa ferramenta informática, o LCA\_PTool. O LCA\_PTool permite consultar uma lista extensa de materiais de construção e seus impactes ambientais, escolher um destes e defini-lo com os respetivos dados (espessura, peso por metro quadrado, breve descrição e seus custos), criar uma nova solução construtiva (paredes interiores, exteriores, pavimentos e coberturas) com base nestes mesmos materiais de construção e/ou analisar uma solução construtiva de paredes exteriores já introduzidas e, finalmente, comparar as soluções construtivas que desejar. Os impactes ambientais de cada material de construção encontram-se analisados para um quilograma por metro quadrado, sendo assim possível fazer a análise de diferentes espessuras e tipologias de cada material e, em função da espessura e do peso que o material possui (ambos introduzidos ambos pelo utilizador) é possível expeditamente saber o impacte ambiental que o mesmo possui e ainda a sua eficiência térmica. Além disso, o LCA\_PTool permite ao utilizador introduzir os custos de construção e manutenção do material em causa, para posterior análise global, ou específica, aquando da análise da respetiva solução construtiva.

Esta é uma ferramenta que permite aos estudantes de engenharia civil e a outros agentes envolvidos no setor da construção abordar a sustentabilidade da construção através de uma abordagem bastante prática, expedita, intuitiva e fácil de analisar. Acima de tudo é uma ferramenta simples e que não exige que o utilizador possua conhecimentos especializados em construção sustentável ou aplicação de uma análise de ciclo de vida. Assim, o LCA\_PTool permite eliminar grande parte das barreiras associadas a estes processos, simplificando a análise de ciclo de vida ao nível dos impactes ambientais dos materiais, que se encontra desde logo inerente à ferramenta por intermédio da base de dados desenvolvida, calculando automaticamente o valor destes mesmos impactes e do coeficiente de transmissão térmica de cada solução bem como os valores totais de custos de ciclo de vida. Além disso, a ferramenta permite ao utilizador fazer a comparação entre soluções construtivas, de modo a identificar a solução com melhor desempenho térmico, a que possui melhor eficiência térmica e qual a que apresenta menores custos de ciclo de vida. Permite ainda identificar quais os materiais que mais influenciam mais ou menos estes três fatores.

Conclui-se assim na mais valia e contribuição que o LCA\_PTool desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado traz para o setor, para o cumprimento das regulamentações estipuladas para o horizonte do ano 2020 e para a proliferação de uma sociedade e das gerações vindouras num planeta capaz, saudável e salvaguardado pelos que aqui habitam.

Como perspetivas futuras de melhoria e crescimento do LCA PTool espera-se que a ferramenta cresça no sentido de ser cada vez mais abrangente e completa. Uma primeira adição seria ao nível da base de dados inserida na ferramenta. Atualmente a ferramenta possui a base de dados desenvolvida para a presente dissertação, que inclui 28 soluções construtivas de paredes exteriores para consulta imediata pelo que seria assim interessante estender a base de dados para soluções construtivas como paredes interiores, pavimentos e coberturas.

A o nível dos Custos de Ciclo de Vida, dada a variação dos preços dos materiais de construção ao longo do tempo, é fulcral que se venha a criar uma interligação entre o LCA PTool e uma plataforma que trabalhe diretamente com custos de materiais como por exemplo o “Gerador de Preços” (CYPE). Esta interligação viria a conferir mais rigor ao nível deste parâmetro de comparação do LCA PTool.

Em termos de desenvolvimento da ferramenta informática, esta pode ainda crescer em vários parâmetros como, por exemplo, a inserção do corte ilustrativo da solução que poderia igualmente estar interligado a alguma plataforma ou até a programas de desenho técnico como o Autocad.

O futuro desta nova ferramenta é, no entanto, promissor. A sua disseminação e implementação a nível académico contribuirá para uma futura geração capaz de identificar soluções ideais do ponto de vista da sustentabilidade e, ao mesmo tempo, trabalhar no sentido de reverter o panorama atual de esgotamento de recursos por parte do setor da construção. Espera-se que também no ramo profissional a ferramenta seja aplicada no sentido de fazer cumprir as metas preconizadas e as políticas futuramente implementadas.

## Referências Bibliográficas

Grigoletti. G. (2001): Caracterização de Impactos Ambientais de Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. Graduate Program in Civil Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul;

Wernick, I. K., Ausubel, J. H. (2000). NATIONAL MATERIALS FLOWS AND THE ENVIRONMENT. 20 Annual Review Energy & Environment 463-492.

Bragança L., Mateus R. 2005. Sustainability assessment of Building Solutions: A Metodological Approach. Department of Civil Engineering, University of Minho, Portugal

EPBD recast. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union 2010. 18/06/2010.

Bragança L., Mateus R. 2011. Avaliação do ciclo de vida dos edifícios: Impacte ambiental de soluções construtivas. Multicomp: Lisboa.

Brundtland, 1988. Relatório de Brundtland, O Nosso Futuro Comum [edição online]. Consultado em Janeiro, 2017, disponível em <http://pt.scribd.com/doc/12906958/Relatorio-Brundtland-Nosso-Futuro-Comum-Em-Portugues>

Declaração do Rio (1992). Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento [edição online]. Consultado em Janeiro de 2013, disponível em <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>

Civil Engineering Research Foundation, CERF (1996). Assessing Global Research Needs, Symposium on Engineering and Construction for Sustainable Development in the 21st Century, Civil Engineering Research Foundation, Washington, D.C.

Tratado de Amsterdão, 1997. [edição online] consultado em Janeiro de 2017 e disponível em [https://europa.eu/european-union/sites/europaeu/files/docs/body/treaty\\_of\\_amsterdam\\_pt.pdf](https://europa.eu/european-union/sites/europaeu/files/docs/body/treaty_of_amsterdam_pt.pdf)

IISD (2006). The Sustainable Development Timeline – 2006. International Institute for Sustainable Development. 4<sup>th</sup> Edition. [edição online] consultada em Janeiro de 2017 em [http://www.iisd.org/pdf/2006/sd\_timeline.pdf]

Martins, V. (2004). A Humanização e o Ambiente físico hospitalar. Congresso Nacional da ABDEH – IV Seminário de Engenharia Clínica

Serpil, 2016. Tendência: Consumo ecológico e móveis sustentáveis [edição online] consultado em Janeiro de 2017 e disponível em <http://www.serpil.com.br/site/tendencia-consumo-ecologico-e-moveis-sustentaveis/>

ISO. ISO/TS 21929-1 (2006). Sustainability in building construction – sustainability indicators – part1: Framework for the development of indicators for buildings. Geneva: ISO.

Pinheiro, M. (2003). Construção Sustentável – Mito ou Realidade? VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, Lisboa

Pinheiro, M. (2006). Ambiente e Construção sustentável. Amadora: Instituto do Ambiente.

Kibert, Sandzimir & Bradley, 2002. Construction Ecology: Nature as the basis of green buildings, London.

Barroso, L. (2010). Construção Sustentável – Soluções Comparativas para o Uso Eficiente da Água nos Edifícios de Habitação. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal

Mateus, R. (2009). Tese de Doutoramento: Avaliação da Sustentabilidade da Construção. Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. Guimarães: Universidade do Minho

Ferreira, José Vicente Rodrigues. (2004). Gestão Ambiental - Análise do Ciclo de Vida dos Produtos. [edição online] consultado em Janeiro de 2017 em



[<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gest%C3%A3o%20Ambiental%20%20An%C3%A1lise%20de%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>]

Ranking web universidades. (2017) [edição online] consultado em Janeiro de 2017 em [http://www.webometrics.info/es/Europe\\_es/Portugal](http://www.webometrics.info/es/Europe_es/Portugal)

USCENSUSBUREAU (2007). World Population Information. United States Census Bureau. Disponível online em [<http://www.census.gov/ipc/www/world.html>] em Janeiro de 2017

UNPD (1999). Th world at six billion. United Nations Population Devision. United Nations, 64 p. New York, USA. Disponível em [<http://www.un.org/esa/population/publications/sixbilion.htm>] em Janeiro de 2017.

UNEP, Earthscan (2002). Global Environmental Outlook 3. United Nations Environmental Program, London. UNEP, CIB, CSIRCIDB. Agenda 21 for Sustainable Construction in Developed Countries.

IEA (2004). World Energy Outlook – 2004. International Energy Agency. Disponível online em [<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>] em Janeiro de 2017

Abreu, M., Albuquerque, A., Freitas, A. (2014) - Posicionamento estratégico em resposta às restrições regulatórias de emissões de gases do efeito estufa, Fortaleza.

Hunt, R., Franklin, W., (1996). The international journal of Life Cycle Assessment: LCA – How it came about. Volume 1, Issue 1, pp 4–7, USA.

Guinée, J. & Heijungs, R., (1995). A Proposal for the Definition of Resource Equivalency Factors for use in Product Life-cycle Assessment. Environmental Toxicology and Chemistry, vol.14 (5), 917-925.

Finkel, G. (1997). The Economics of the Construction Industry. London and New York, Sharpe.

Gabathuler, H. (1997). The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA. Int. J. LCA, vol. 2 (4) 187-194. Landsberg, Germany: Ecomed.

Tibor, T. e Feldman, I., (1996). ISO 14000: A Guide to the New Environmental Management Standards. USA: Times Mirror Higher Education Group.

Bragança, L., Mateus, R. (2011). Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios - Impacte Ambiental de Soluções Construtivas

Pereira, M. (2013) Avaliação do Impacte Ambiental de Edifícios Hospitalares Portugueses. Guimarães: Universidade do Minho.

ISO 14040, (2006). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Genève: Switzerland.

ISO 14044 (2010) Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. Genève: Switzerland

Pré-consultants (2010). SimaPro 7. LCA software version 7.2. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants.

Campos, M. (2012). Abordagem de ciclo de vida na avaliação de impactos ambientais no processamento primário offshore. Rio de Janeiro: Universidade Federal

Website oficial Ecoinvent. Consultado em Janeiro de 2017 em [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)

SETAC-Society of Environmental Toxicology and Chemistry, (1993b). Guidelines for Life-Cycle Assessment: A “Code of Practice”. Em Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A., Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J., e Vigon B. (Eds.). Sesimbra: Portugal.

CML, 2001. An operational guide to the ISO-standards - Part 3: Scientific background (Final report, May 2001). ([www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html#gb](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html#gb))

Goedkoop & Spriensma, 2000. Eco-indicator 99. Manual for Designers. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Publication: MHSPE (Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment), October 2000. Netherlands

USEPA, 2001. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. 2001. Disponível em: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>.

COSTA, Marília S. V. O enfoque de ciclo de vida como estratégia para a gestão sustentável: um estudo de caso sobre pneus. 2007. 158f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos de Envolvente Opaca.



## **ANEXOS**



## Anexo 1 – Lista de materiais base e lista de transportes

Tabela A1. 1– Lista de materiais de construção e transportes definidos e respectivos impactos ambientais de ciclo de vida

Materiais	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA (kg/m <sup>2</sup> )						Energia Incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Aço em perfil	<b>Cradle-to-gate</b>	2,45E-05	1,84E+00	9,81E-08	9,01E-03	9,21E-04	5,60E-03	1,84E+01	1,70E+00
Aço em varão		1,06E-05	2,39E+00	1,26E-07	1,03E-02	1,24E-03	4,67E-03	2,26E+01	1,23E+00
Aglomerado de Madeira e Cimento		2,79E-04	2,91E+02	1,66E-05	9,46E-01	4,59E-02	2,76E-01	2,38E+03	1,20E+03
Alumínio, 50% reciclado		6,42E-05	7,77E+00	1,72E-06	6,16E-02	3,90E-03	3,11E-02	1,21E+02	1,49E+01
Argamassa de Cal		3,08E-07	8,34E-01	3,33E-08	2,15E-03	9,22E-05	5,68E-04	4,58E+00	3,57E-01
Argamassa de cimento		2,03E-07	3,09E-01	1,58E-08	1,02E-03	4,42E-05	2,97E-04	2,12E+00	2,45E-01
Azulejo/mosaico cerâmico		4,58E-05	7,50E-01	7,25E-08	5,08E-03	2,80E-04	1,47E-03	1,09E+01	7,37E-01
Betão		3,16E-04	3,98E+02	1,96E-05	1,11E+00	4,65E-02	2,78E-01	2,39E+03	1,00E+02
Betão armado		3,01E-04	3,78E+02	1,86E-05	1,06E+00	4,42E-02	2,64E-01	2,27E+03	9,52E+01
Betume asfáltico		6,40E-06	2,12E+00	5,04E-07	1,84E-02	9,75E-04	4,04E-03	5,35E+01	3,25E+00
Bloco de betão leve (argila expandida)		4,48E+00	1,72E-01	2,24E-04	4,49E-01	1,14E-02	6,73E-02	4,66E+00	5,28E-01
Bloco de betão leve (poroso)		1,65E+00	9,59E-02	8,73E-05	6,60E-02	6,69E-03	5,24E-02	1,75E+00	1,25E-01
Borracha		8,66E+01	2,77E+00	6,00E-04	4,07E-01	9,98E-02	5,82E-01	8,94E+01	1,09E+00
Brita		2,42E-01	2,24E-02	1,45E-05	4,14E-03	1,55E-03	7,84E-03	2,65E-01	1,35E-02
Chapa de zinco		5,22E+01	2,27E+00	9,93E-04	1,63E+00	1,03E-01	4,80E+00	5,45E+01	6,53E+00
Cloreto de polivinilo (PVC)		4,58E-07	2,15E+00	2,90E-08	6,38E-03	3,58E-04	1,15E-03	6,22E+01	9,83E-01
Cobre		2,29E-03	5,44E+00	3,44E-06	3,33E-01	1,32E-02	2,65E-01	8,31E+01	1,41E+01
Cortiça		3,69E-06	1,89E+00	1,62E-07	1,29E-02	8,55E-04	3,60E-03	2,95E+01	1,26E+02

Tabela A1. 2– Lista de materiais de construção e transportes definidos e respectivos impactos ambientais de ciclo de vida (continuação)

Materiais	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia Incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Espuma de vidro	<b>Cradle-to-gate</b>	6,03E-06	1,78E+00	1,27E-07	1,12E-02	4,74E-04	4,74E-03	2,65E+01	2,94E+00
Ferro		2,10E-06	2,03E+00	1,05E-07	9,17E-03	1,06E-03	2,91E-03	2,03E+01	8,12E-01
Fibra de vidro		8,02E-06	2,59E+00	2,15E-07	2,01E-02	7,70E-04	5,06E-03	3,85E+01	2,05E+00
Lã de rocha/mineral		2,35E-06	1,40E+00	7,93E-08	1,14E-02	6,42E-04	2,10E-03	1,65E+01	7,71E-01
Lã de vidro		5,12E-06	2,71E+00	2,64E-07	2,11E-02	1,09E-03	6,49E-03	4,47E+01	3,09E+00
Madeira serrada		2,99E-04	1,10E+02	1,69E-05	6,59E-01	7,47E-02	5,32E-01	1,69E+03	1,78E+04
Painéis de OSB		7,66E-04	3,54E+02	3,21E-05	2,18E+00	1,45E-01	1,25E+00	6,49E+03	1,79E+04
Pedra		1,93E-07	5,34E-01	4,80E-08	3,69E-03	1,38E-04	1,15E-03	7,76E+00	5,94E-01
Pedra calcária		3,73E-09	2,91E-03	4,13E-10	4,04E-05	1,17E-06	1,37E-05	3,99E-02	2,00E-03
Perlite expandida		7,82E-07	1,26E+00	1,48E-07	9,03E-03	4,22E-04	1,70E-03	1,43E+01	1,53E+00
Placa de gesso cartonado		4,52E-07	4,07E-01	2,78E-08	2,83E-03	1,26E-04	6,77E-04	4,95E+00	9,92E-01
Placa de pedra		1,93E-07	5,34E-01	4,80E-08	3,69E-03	1,38E-04	1,15E-03	7,76E+00	5,93E-01
Poliéster (UP)		8,70E-06	2,20E+00	4,20E-07	1,79E-02	8,07E-04	6,07E-03	5,41E+01	9,10E+00
Poliestireno expandido (EPS)		5,47E-07	3,46E+00	7,30E-08	1,15E-02	6,98E-04	1,28E-03	9,05E+01	4,59E-01
Polietileno		2,41E-07	2,01E+00	1,51E-08	7,11E-03	6,47E-04	6,79E-04	7,77E+01	9,28E-01
Polipropileno		2,89E-07	2,06E+00	1,47E-08	6,78E-03	4,48E-04	7,93E-04	7,59E+01	5,08E-01
Poliuretano expandido rígido		5,61E-06	4,50E+00	6,62E-08	2,00E-02	2,18E-03	4,35E-03	1,01E+02	2,80E+00
Telha cerâmica		4,43E-07	4,39E-01	3,53E-08	1,62E-03	9,56E-05	3,70E-04	4,87E+00	1,37E-01



Tabela A1. 3– Lista de materiais de construção e transportes definidos e respectivos impactos ambientais de ciclo de vida (continuação)

Materiais	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia Incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Telha de betão	<b>Cradle-to-gate</b>	5,95E-07	3,04E-01	1,69E-08	1,07E-03	5,86E-05	3,19E-04	2,23E+00	1,53E-01
Terra e argila		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Tijolo cerâmico		4,35E-07	3,14E-01	2,79E-08	1,18E-03	7,00E-05	2,96E-04	3,64E+00	1,66E-01
Tinta de base aquosa		2,35E-05	5,91E+00	6,61E-07	4,23E-02	3,61E-03	1,94E-02	7,61E+01	2,27E+01
Tinta de base sintética		2,15E-05	6,08E+00	7,27E-07	4,47E-02	3,59E-03	1,86E-02	8,39E+01	1,83E+01
Ureia-formaldeído expandida		2,01E-05	2,95E+00	3,98E-07	2,33E-02	1,57E-03	4,56E-03	6,29E+01	1,36E+00
Verniz		1,47E-05	2,59E+00	3,10E-07	2,03E-02	1,59E-03	6,16E-03	4,44E+01	2,48E+00
Vidro		4,93E-06	1,19E+00	1,11E-07	1,13E-02	4,06E-04	1,49E-03	1,50E+01	6,24E-01
Poliestireno extrudido (XPS)		4,77E-06	1,15E+01	1,82E-04	1,97E-02	1,43E-03	3,86E-03	1,02E+02	1,81E+00
Comboio de carga		6,55E-12	1,27E-08	1,25E-07	6,57E-04	5,23E-05	5,78E-02	8,51E-04	5,71E-05
Veículo ligeiro comercial de carga		7,64E-09	1,95E-03	3,32E-10	9,10E-06	7,94E-07	2,68E-06	3,07E-02	6,23E-04
Camião de carga superior a 32 toneladas		1,59E-10	8,50E-05	1,62E-11	4,57E-07	1,61E-08	1,10E-07	1,44E-03	2,03E-05
Camião de carga entre 16 e 32 toneladas		4,67E-10	1,70E-04	3,13E-11	8,91E-07	3,25E-08	2,13E-07	2,75E-03	3,26E-05
Camião de carga entre 3,5 e 7,5 toneladas		2,61E-09	5,27E-04	9,20E-11	2,62E-06	1,02E-07	6,47E-07	8,29E-03	1,17E-04
Camião de carga entre 7,5 e 16 toneladas		7,97E-10	2,21E-04	3,96E-11	1,12E-06	4,18E-08	2,70E-07	3,52E-03	4,43E-05
Camião de carga não especificada		3,18E-10	1,36E-04	2,51E-11	7,11E-07	2,59E-08	1,71E-07	2,22E-03	2,91E-05
Avião		4,62E-03	7,02E+03	4,58E-04	5,14E+01	2,54E+00	1,32E+01	8,96E+04	8,27E+03
Navio		2,89E-12	1,15E-05	1,86E-12	2,42E-07	7,89E-09	2,66E-08	1,76E-04	3,64E-06

## Anexo 2 – Soluções construtivas de paredes exteriores (Obtidas pelo LCA PTool)

Tabela A2. 1 - Solução construtiva Parede Exterior 1


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples em alvenaria de tijolo furado (22cm), com reboco armado, sobre isolamento contínuo pelo exterior							Ref: PExt 1		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	6.76E-05	6.58E+01	4.64E-06	2.32E-01	1.25E-02	6.06E-02	6.62E+02	4.10E+01	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Armado 2cm	0.020	0.8000	0.13	0.04	0.0250	0.6093	32.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido EPS 4cm	0.040	0.0438			0.9132		0.59	0.00	0.00
	Tijolo Furado 22cm	0.220	0.6600			0.5200		119.82	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF22	0.010	1.5500			0.0065		32.75	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1cm	0.010	1.5500			0.0065		19.50	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 2 – Solução construtiva Parede Exterior 2


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples em alvenaria de tijolo furado, com isolamento térmico, e revestimento exterior espesso em reboco armado							Ref: PExt 2		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	6.77E-05	6.68E+01	4.66E-06	2.35E-01	1.27E-02	6.10E-02	6.89E+02	4.11E+03	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Armado 2cm	0.020	0.8000	0.13	0.04	0.0250	0.4767	32.00	0.00	0.00
	Tijolo Furado 22cm	0.220	0.6600			0.5200		119.82	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF22	0.010	1.5500			0.0065		32.75	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1cm	0.010	1.5500			0.0065		19.50	0.00	0.00
Poliestireno Expandido EPS 6cm	0.060	0.0438	1.3699			0.89		0.00	0.00	
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 3 – Solução construtiva Parede Exterior 3

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples em alvenaria de tijolo maciço (22cm), com isolamento térmico, e revestimento interior em placas de gesso cartonado, fixado em estrutura metálica							Ref: PExt 3		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	2.77E-04	1.55E+02	1.23E-05	6.06E-01	3.55E-02	1.65E-01	1.66E+03	9.94E+01	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.04		0.6433			
	Tijolo Maciço 22cm	0.220	0.6600			0.3300		364.58	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM22	0.010	1.5500			0.0065		82.73	0.00	0.00
	Mantas de Lã Mineral 6cm	0.060	0.0600			1.0000		2.46	0.00	0.00
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
Placas de Gesso Cartonado 1,2cm	0.012	0.2500	0.0480	10.50	0.00	0.00				
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 45 – Solução construtiva Parede Exterior 5

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples em betão armado, com isolamento térmico e revestimento exterior em reboco armado							Ref: PExt 5		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.51E-01	1.89E+05	9.63E-03	5.30E+02	2.21E+01	1.32E+02	1.14E+06	4.76E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos C / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.04		0.5232			
	Reboco Armado 2cm	0.020	0.8000			0.0250		32.00	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1cm	0.010	1.5500			0.0065		19.50	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido Extrudido XPS 6cm	0.060	0.0370			1.6216		1.80	0.00	0.00
	Betão Armado 20cm	0.200	2.2700			0.0881		500.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 6 – Solução construtiva Parede Exterior 6


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples em alvenaria de pedra (20cm), com isolamento térmico e revestimento espesso exterior em reboco armado							Ref: PExt 6		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.13E-04	3.08E+02	3.53E-04	1.98E+00	7.57E-02	6.14E-01	4.28E+03	3.20E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.04		0.5296			
	Reboco Armado 2cm	0.020	0.8000			0.0250		32.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido Extrudido XPS 6cm	0.060	0.0370			1.6216		1.80	0.00	0.00
	Pedra Granítica 20cm	0.200	2.8000			0.0714		520.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 7 – Solução construtiva Parede Exterior 7

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede simples de alvenaria de adobe (20cm), com isolamento térmico e revestimento interior em placas de gesso cartonado, fixado em estrutura metálica							Ref: PExt 7		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.09E-04	2.12E+01	1.21E-06	1.30E-01	8.40E-03	4.13E-02	2.24E+02	2.30E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.04		0.7127			
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Placas de Gesso Cartonado 1,2cm	0.012	0.2500			0.0480		10.50	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 0,5cm	0.005	1.5500			0.0032		9.75	0.00	0.00
	Adobe 20cm	0.200	1.1000			0.1818		377.00	0.00	0.00
Placas de Lã de Rocha 6cm	0.060	0.0600	1.0000	5.04	0.00	0.00				
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 8 – Solução construtiva Parede Exterior 8

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede com estrutura metálica leve em perfis de aço galvanizado							Ref: PExt 8		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	6.09E-03	2.79E+03	2.52E-04	1.72E+01	1.14E+00	9.80E+00	5.10E+04	1.40E+05	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m <sub>2</sub>	Custos € / m <sub>2</sub>	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m <sub>2</sub> .°C/W)	R se (m <sub>2</sub> .°C/W)	R (m <sub>2</sub> .°C/W)	U (W/m <sub>2</sub> .°C)	kg / m <sub>2</sub>	Construção	Manutenção
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000	0.13	0.04	0.0000	1.658	3.70	0.00	0.00
	Reboco Armado de Ligantes Minerais 1cm	0.010	0.8000			0.0125		16.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido EPS 1cm	0.010	0.0438			0.2283		0.15	0.00	0.00
	Painéis OSB 1,2cm	0.012	0.1300			0.0923		7.80	0.00	0.00
	Dupla camada de painéis de gesso cartonado 2,5cm	0.025	0.2500			0.1000		43.75	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										



Tabela A2. 9 – Solução construtiva Parede Exterior 9


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla com pano exterior em alvenaria de betão armado, caixa-de-ar e revestimento interior em placas de gesso cartonado, fixo em estrutura metálica							Ref: PEXT 9		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.51E-01	1.89E+05	9.30E-03	5.30E+02	2.21E+01	1.32E+02	1.14E+06	4.76E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000	0.13	0.04	0.0000	2.0039	3.70	0.00	0.00
	Placas de Gesso Cartonado 1,2cm	0.012	0.2500			0.0480		10.50	0.00	0.00
	Betão Armado 20cm	0.200	2.2700			0.0881		500.00	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500			0.0129		39.00	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 10 – Solução construtiva Parede Exterior 10


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla com pano exterior em alvenaria de pedra, caixa-de-ar e revestimento interior em placas de gesso cartonado, fixo em estrutura metálica							Ref: PEXT 10		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA					Energia incorporada			
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.96E-04	2.89E+02	2.56E-05	1.98E+00	7.65E-02	6.26E-01	4.16E+03	3.26E+03	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					Quantidade por m2	Custos € / m2		
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.04		2.1301			
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Placas de Gesso Cartonado 1,2cm	0.012	0.2500			0.0480		10.50	0.00	0.00
	Pedra Granítica 20cm	0.200	2.8000			0.0714		520.00	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 11 – Solução construtiva Parede Exterior 11


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo furado (11cm), caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico, e pano interior em alvenaria de tijolo furado (11cm)							Ref: PEXT 11		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	8.30E-05	8.76E+01	2.24E-04	2.85E-01	1.54E-02	7.48E-02	8.16E+02	5.02E+01	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500	0.13	0.04	0.0129	0.4567	39.00	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500			0.0129		39.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500			0.0065		16.37	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500			0.0065		16.37	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Furado 11cm	0.220	1.3200			0.7200		125.96	0.00	0.00
Caixa de Ar	0.025	0.1389	0.1800			0.00		0.00	0.00	
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 12 – Solução construtiva Parede Exterior 12


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla de alvenaria de tijolo furado (15cm+11cm) com isolamento térmico em XPS na caixa-de-ar							Ref: PEXT 12		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	8.61E-05	8.28E+01	1.15E-04	2.83E-01	1.54E-02	7.44E-02	7.98E+02	4.91E+03	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500	0.13	0.04	0.0065	0.5673	16.37	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Furado 11cm 15cm	0.260	1.3200			0.8400		145.93	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 2cm	0.020	0.0370			0.5405		0.60	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF15	0.010	1.5500			0.0065		22.33	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
	Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 13 – Solução construtiva Parede Exterior 13


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço (11cm), caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico e pano interior em alvenaria de tijolo furado(11cm)							Ref: PExt 13		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.41E-04	1.31E+02	2.27E-04	4.48E-01	2.49E-02	1.16E-01	1.31E+03	7.45E+01	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500	0.13	0.04	0.0129	0.4636	39.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500			0.0065		16.37	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM11	0.010	1.5500			0.0065		68.15	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Furado 11cm Tijolo Maciço 11cm	0.220	1.3200			0.7000		253.20	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 14 – Solução construtiva Parede Exterior 15


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço (11cm), caixa-de-ar totalmente preenchida com isolamento térmico e pano interior em alvenaria de tijolo							Ref: PExt 15	
 NO IMAGE FOUND	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada	
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO <sub>2</sub> eq)	POcp (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (Kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
	Cradle-to-gate	1.41E-04	1.31E+02	2.27E-04	4.48E-01	2.49E-02	1.16E-01	1.31E+03	7.45E+01
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m <sub>2</sub>	Custos C / m <sub>2</sub>
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m <sup>2</sup> .°C/W)	R se (m <sup>2</sup> .°C/W)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	kg / m <sub>2</sub>	Construção    Manutenção
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500	0.13	0.04	0.0129	0.4636	39.00	0.00    0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00    0.00
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500			0.0065		16.37	0.00    0.00
	Argamassa de Assentamento TM11	0.010	1.5500			0.0065		68.15	0.00    0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Furado 11cm Tijolo Maciço 11cm	0.220	1.3200			0.7000		253.20	0.00    0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00    0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)								<b>Total:</b>	<b>0.0    0.0</b>
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process									

Tabela A2. 16– Solução construtiva Parede Exterior 16


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de pedra (12cm), caixa-de-ar e pano interior em alvenaria de tijolo furado (11cm)							Ref: PExt 16		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA					Energia incorporada			
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	9.89E-05	2.03E+02	1.76E-05	1.28E+00	4.99E-02	3.94E-01	2.77E+03	2.09E+03	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					Quantidade por m2	Custos € / m2		
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500	0.13	0.04	0.0129	1.4657	39.00	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500			0.0065		16.37	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Furado 11cm e Pedra 12cm	0.230	3.4600			0.3129		374.98	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 17 – Solução construtiva Parede Exterior 17


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla com pano exterior em alvenaria de pedra (12cm), caixa-de-ar e pano interior em alvenaria de pedra (15cm)							Ref: PExt 17		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO <sub>2</sub> eq)	POcp (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	EP (Kg PO <sub>4</sub> eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.35E-04	3.75E+02	3.37E-05	2.59E+00	9.69E-02	8.07E-01	5.45E+03	4.17E+03	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m <sub>2</sub>	Custos € / m <sub>2</sub>	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m <sup>2</sup> .°C/W)	R se (m <sup>2</sup> .°C/W)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	kg / m <sub>2</sub>	Construção	Manutenção
	Alvenaria Dupla de Pedra 15cm 12cm	0.270	5.6000	0.13	0.04	0.0964	2.2402	702.00	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										



Tabela A2. 18 – Solução construtiva Parede Exterior 18

Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla com pano exterior em alvenaria de pedra (12cm), caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico e pano interior em alvenaria de pedra (15cm)							Ref: PExt 18		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.41E-04	3.89E+02	2.52E-04	2.61E+00	9.86E-02	8.12E-01	5.57E+03	4.19E+03	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370	0.13	0.04	1.0811	0.6547	1.20	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Pedra 15cm 12cm	0.270	5.6000			0.0964		702.00	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 19 – Solução construtiva Parede Exterior 19


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de pedra aparelhada (30cm), pano interior em alvenaria de tijolo furado (11cm) e com isolamento na caixa-de-ar							Ref: PExt 19		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.91E-04	4.61E+02	2.04E-04	3.02E+00	1.15E-01	9.33E-01	6.47E+03	4.87E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.ºC)	R si (m2.ºC/W)	R se (m2.ºC/W)	R (m2.ºC/W)	U (W/m2.ºC)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Argamassa de Assentamento TF11	0.010	1.5500	0.13	0.04	0.0065	0.6435	16.37	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Furado 11cm e Pedra 30cm	0.410	3.4600			0.3770		842.98	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido Extrudido XPS 3cm	0.030	0.0370			0.8108		0.90	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 20 – Solução construtiva Parede Exterior 20


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço (7cm) com face à vista e pano interior em alvenaria blocos de betão celular autoclavado (17,5cm), separados por caixa-de-ar							Ref: PExt 20		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.09E-04	1.07E+02	7.09E-06	3.51E-01	1.86E-02	9.48E-02	6.68E+02	6.02E+01	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500	0.13	0.04	0.0097	0.7533	29.25	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Maciço 7cm Blocos de Betão Celular Autoclavado 17,5cm	0.245	0.8600			0.9550		221.26	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM7	0.010	1.5500			0.0065		16.38	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento BBKA 17,5cm	0.010	1.5500			0.0065		18.03	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 21 – Solução construtiva Parede Exterior 21


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço (11cm), caixa-de-ar parcialmente preenchida com isolamento térmico, e pano interior em betão armado (15cm)							Ref: PExt 21		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.13E-01	1.42E+05	7.20E-03	3.98E+02	1.66E+01	9.91E+01	8.52E+05	3.58E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500	0.13	0.04	0.0129	0.6073	39.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM11	0.010	1.5500			0.0065		68.15	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Maciço 11cm Betão Armado 15cm	0.260	2.9300			0.1961		565.22	0.00	0.00
	Caixa de Ar	0.025	0.1389			0.1800		0.00	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 22 – Solução construtiva Parede Exterior 22


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço, caixa-de-ar e pano interior em betão armado							Ref: PExt 22		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.13E-01	1.42E+05	6.98E-03	3.98E+02	1.66E+01	9.91E+01	8.52E+05	3.58E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.ºC)	R si (m2.ºC/W)	R se (m2.ºC/W)	R (m2.ºC/W)	U (W/m2.ºC)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Reboco Tradicional 2cm	0.020	1.5500	0.13	0.04	0.0129	2.5943	39.00	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM11	0.010	1.5500			0.0065		68.15	0.00	0.00
	Alvenaria Dupla de Tijolo Maciço 11cm Betão Armado 15cm	0.260	2.9300			0.1961		565.22	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 23 – Solução construtiva Parede Exterior 23


Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo maciço e revestimento exterior descontínuo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica							Ref: PExt 23		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	2.82E-04	1.89E+02	2.33E-04	7.65E-01	4.15E-02	2.18E-01	2.10E+03	1.20E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.13		0.5961			
	Tijolo Maciço 22cm	0.220	0.6600			0.3300		364.58	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TM22	0.010	1.5500			0.0065		82.73	0.00	0.00
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
Placas de Pedra 3cm	0.030	1.3000	0.0231	52.50	0.00	0.00				
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 24 – Solução construtiva Parede Exterior 24


Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de tijolo furado e revestimento exterior descontínuo em placas de aglomerado de madeira e cimento, fixo em estrutura metálica							Ref: PExt 24		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	4.18E-03	4.27E+03	4.62E-04	1.39E+01	6.77E-01	4.05E+00	3.50E+04	1.73E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Tijolo Furado 22cm	0.220	0.6600	0.13	0.13	0.5200	0.5327	119.82	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF22	0.010	1.5500			0.0065		32.75	0.00	0.00
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Placas de Aglomerado de Madeira e Cimento 1,2cm	0.012	0.2300			0.0522		14.40	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 25 – Solução construtiva Parede Exterior 25


Solução Construtiva	Elemento não ventilado : Parede tripla com elemento de suporte em alvenaria de tijolo furado, revestimento exterior em placas de aglomerado de madeira-cimento e revestimento interior em placas de gesso cartonado fixadas em estrutura metálica							Ref: PExt 25		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg P04 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	4.27E-03	4.26E+03	2.44E-04	1.40E+01	6.83E-01	4.08E+00	3.50E+04	1.80E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m <sub>2</sub>	Custos C / m <sub>2</sub>	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m <sub>2</sub> .°C/W)	R se (m <sub>2</sub> .°C/W)	R (m <sub>2</sub> .°C/W)	U (W/m <sub>2</sub> .°C)	kg / m <sub>2</sub>	Construção	Manutenção
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000	0.13	0.04	0.0000	0.4	3.70	0.00	0.00
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Placas de Gesso Cartonado 1,2cm	0.012	0.2500			0.0480		10.50	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento TF15	0.010	1.5500			0.0065		22.33	0.00	0.00
	Placas de Aglomerado de Madeira e Cimento 1,2cm	0.012	0.2300			0.0522		14.40	0.00	0.00
	Placas de Aglomerado Negro de Cortiça 5cm	0.050	0.0500			1.0000		5.50	0.00	0.00
	Placas de Lã de Rocha 5cm	0.050	0.0600			0.8333		4.20	0.00	0.00
	Tijolo Furado 15cm	0.150	0.6600			0.3900		82.95	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)								Total:	0.0	0.0
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										



Tabela A2. 26 – Solução construtiva Parede Exterior 26


Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em betão armado e revestimento exterior descontinúo em placas de pedra, fixo em estrutura metálica							Ref: PExt 26		
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA					Energia incorporada			
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	1.51E-01	1.89E+05	9.52E-03	5.30E+02	2.21E+01	1.32E+02	1.14E+06	4.76E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					Quantidade por m <sub>2</sub>	Custos € / m <sub>2</sub>		
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m <sup>2</sup> .°C/W)	R se (m <sup>2</sup> .°C/W)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	kg / m <sub>2</sub>	Construção	Manutenção
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000	0.13	0.13	0.0000	0.695	3.70	0.00	0.00
	Betão Armado 20cm	0.200	2.2700			0.0881		500.00	0.00	0.00
	Poliestireno Expandido XPS 4cm	0.040	0.0370			1.0811		1.20	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Placas de Pedra 3cm	0.030	1.3000			0.0231		52.50	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 27 - Solução construtiva Parede Exterior 27


Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de blocos de betão leve (20cm) e revestimento cerâmico descontinuo fixo em estrutura metálica								Ref: PExt 27	
<div></div> <div>NO IMAGE FOUND</div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA						Energia incorporada		
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	5.02E+02	5.56E+01	2.51E-02	5.05E+01	1.29E+00	7.59E+00	8.70E+02	4.28E+02	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas						Quantidade por m2	Custos € / m2	
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
				0.13	0.13		0.7898			
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000			0.0000		3.70	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Peças cerâmicas 1cm	0.010	0.6600			0.0152		17.00	0.00	0.00
	Placas de Aglomerado Negro de Cortiça 2,5cm	0.025	0.0500			0.5000		2.75	0.00	0.00
	Blocos de betão leve com agregados de argila expandida 20cm	0.200	0.9500			0.4900		112.04	0.00	0.00
Argamassa de Assentamento BLAE20	0.010	1.5500	0.0065	25.19	0.00	0.00				
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)							Total:	0.0	0.0	
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										

Tabela A2. 28 – Solução construtiva Parede Exterior 28

Solução Construtiva	Elemento ventilado : Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de blocos de betão furados e revestimento exterior em placas de aglomerado de madeira e cimento, fixo em estrutura metálica							Ref: PExt 28		
<div></div>	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto Ambiental LCA					Energia incorporada			
		ADP (kb Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CGC-11 eq)	AP (Kg SO2 eq)	POcp (Kg C2H4 eq)	EP (Kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)	
	Cradle-to-gate	4.20E-03	4.25E+03	2.43E-04	1.39E+01	6.76E-01	4.06E+00	3.48E+04	1.80E+04	
	Materiais Considerados	Propriedades Térmicas					Quantidade por m2	Custos € / m2		
		e (m)	λ (W/m.°C)	R si (m2.°C/W)	R se (m2.°C/W)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)	kg / m2	Construção	Manutenção
	Perfis de Aço Galvanizado 0,15cm	0.002	50.0000	0.13	0.13	0.0000	0.6345	3.70	0.00	0.00
	Reboco Tradicional 1,5cm	0.015	1.5500			0.0097		29.25	0.00	0.00
	Placas de Aglomerado de Madeira e Cimento 1,2cm	0.012	0.2300			0.0522		14.40	0.00	0.00
	Placas de Aglomerado Negro de Cortiça 5cm	0.050	0.0500			1.0000		5.50	0.00	0.00
	Blocos de betão furados 20cm	0.200	0.6667			0.3000		149.39	0.00	0.00
	Argamassa de Assentamento BBF20	0.010	1.5500			0.0065		25.19	0.00	0.00
Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 3.02 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.09 (Para avaliar a energia)								Total:	0.0	0.0
Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process										